

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

### **Vlastnosti lepeného spoje při zatěžování za nízkých teplot** **Properties of the bond during loading at low temperatures**

Jan Lemfeld

**KSP – TP –**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D - *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D - *TU v Liberci*

#### **Rozsah práce a příloh:**

<b>Počet stran</b>	48
<b>Počet tabulek</b>	11
<b>Počet příloh</b>	6
<b>Počet obrázků</b>	29

**Datum:** 27. 5. 2011

**A N O T A C E**  
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

**Katedra strojírenské technologie**

**Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Jan Lemfeld

Téma práce: Vlastnosti lepeného spoje při zatěžování za nízkých teplot

Properties of the bond during loading at low temperatures

Číslo BP: KSP – TP –

Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. - *TU v Liberci*

Konzultant BP: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. - *TU v Liberci*

**Abstrakt:**

Cílem bakalářské práce je zjištění vlivu nízkých teplot na pevnost lepeného spoje v automobilovém průmyslu. Pevnost lepeného spoje byla hodnocena při teplotách v rozmezí 0°C až – 50°C. V práci byla použita lepidla Betamate 1496F a SikaPower 492G na substráty (HDG) a (EG+PH) hlubokotažného plechu.

**Abstract:**

Aim of bachelor thesis is fading the influences of temperature for strenght of glued joints in the automotive industry at temperature between 0°C to - 50°C. Adhesives Betamate 1496F and SikaPower 492G were used and the substrates (HDG) and (EG + PH), deep-drawing sheet during the work.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 27. 5. 2011

.....

Jan Lemfeld

Vilémov 253

407 80 Vilémov

## Poděkování:

Na úvod bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Doubkovi Ph.D. a Ing. Michaele Kolnerové, Ph.D. za odborné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování bakalářské práce



## Obsah

<b>1. ÚVOD</b>	9
<b>2. TEORETICKÁ ČÁST</b>	10
2.1 Teorie lepení	10
2.2 Koheze, adheze	10
2.3 Smáčivost lepeného povrchu	12
2.4 Výhody a nevýhody lepení	12
2.5 Konstrukce lepených spojů	13
2.6 Struktura lepeného spoje	16
2.7 Hodnocení lepených spojů	17
2.7.1 Destruktivní metody	17
2.8 Rozdělení lepidel	19
2.8.1 Rozdělení lepidel podle tuhnutí ve spoji	19
2.9 Výběr lepidla	21
2.10 Technologie lepení v automobilovém průmyslu a její využití	22
2.10.1 Výběr technologie pro výrobu podvozkových dílů u automobilů	22
2.10.2 Testování spoje a výběr technologie	24
<b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>	26
3.1 Cíl experimentu	26
3.2 Výběr materiálů pro experiment	26
3.3 Postup přípravy vzorků	28
3.4 Zkoušky vzorků	30
3.4.1 Příprava měření	30
3.4.2 Průběh zkoušky	32
<b>4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ</b>	33
4.1 Vyhodnocení výsledků lepidla Betamate 1496F	33
4.2 Vyhodnocení výsledků lepidla SikaPower 492G	34



4.3 Porovnání lepidel Betamate 1496F a SikaPower 492G se substrátem HDG ...	36
4.4 Porovnání lepidel Betamate 1496F a SikaPower 492G se substrátem EG+PH37	
4.5 Komplexní hodnocení lepených spojů v závislosti na teplotě .....	38
4.6 Typy porušení lepidla Betamate 1496F.....	39
4.7 Typy porušení lepidla SikaPower 492G.....	42
<b>5. ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>44</b>
<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>46</b>
<b>8. SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>48</b>

Seznam použitých zkratk a symbolů:

Označení	Název	Jednotka
CF	Kohezní porušení	[%]
SCF	Speciální kohezní porušení	[%]
AF	Adhezní porušení	[%]
EG+PH	Fosfátovaný, elektrolyticky pozinkovaný plech	
HDG	Žárově pozinkovaný plech	
ČSN	Česká státní norma	
$F_{\max}$	Maximální síla	[N]
S	Plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$\tau$	Pevnost ve smyku	[MPa]
L	Délka	[mm]
$\alpha$	Úhel smáčivosti	[°]
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	
T	Teplota	[°C]
s	Tloušťka substrátu	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
m	Hmotnost	[Kg]
$R_m$	Smluvní mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]



## 1. ÚVOD

Technologie lepení je velice významnou technologií, která zaznamenala velký rozvoj v období po 2. světové válce. Došlo k prudkému nárůstu produkce syntetických lepidel, pojiv a tmelů, s tím se také začaly rozvíjet technologie zabývající se lepením. I když je technologie lepení považována za moderní, její prvopočátky sahají daleko do historie. Lepidla do 2. světové války se využívala především ve spotřebním průmyslu. Důležitým milníkem bylo nasazení technologie lepení v leteckém průmyslu. Významnou událostí v letectví, byl objev fenolformaldehydové pryskyřice modifikované polyvinylformalem s průmyslovým označením Redux. Tento typ lepidla umožnil výrobu prvního sériového letadla ve Velké Británii v roce 1943 s označením DH 103 Hornet. Letoun měl smíšenou konstrukci ze dřeva a kovů. Na sklopná křídla bylo použito lepení duralu na překližku. [4] Technologie lepení zaznamenala v posledních deseti letech velký nárůst spotřeby, a to nejen ve zpracovatelském průmyslu (dopravní průmysl, potravinářský průmysl atd.), ale také v opravárenství.

V dnešní době technologie lepení začíná vytlačovat další druhy technologií spojování materiálů a to především technologii svařování. Lepení zasahuje téměř do každé průmyslové oblasti, jako jsou například potravinářský průmysl, automobilový nebo letecký. Lepené spoje jsou dnes ve velké míře využívány v automobilovém průmyslu, kde se dbá především na kvalitu, spolehlivost a ekonomičnost. Výhodou lepených spojů je, že oproti svarům, téměř nikdy neovlivňují základní materiál. Dobře odolávají korozi, další výhodou je dobrá těsnost spoje, možnost spojování velmi tenkých materiálů, zvýšení izolačních vlastností.

Cílem bakalářské práce je popsat a vyhodnotit vliv nízkých teplot na pevnost lepených spojů. Pro experimentální měření byly zvoleny dva typy lepidel používané v automobilovém průmyslu při stavbě karoserií. Teplotní testy probíhaly při teplotách 0°C až -50°C. Těmto nízkým teplotám mohou být automobily vystaveny v severských oblastech například v oblasti Sibiře. Pro vyhodnocení kvality spoje byla použita zkouška smykové pevnosti v tahu u přeplátovaných spojů.





## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Teorie lepení [ 2, 7 ]

Princip lepení v sobě zahrnuje spojení dvou různých ploch pomocí adheziva, které má dobrou přilnavost k oběma plochám. Kvalita lepeného spoje závisí na těchto parametrech: adheze, koheze, smáčivost, pevnost lepeného materiálu. Nejčastější úvahy o teorii lepení směřují ke vztahům molekul lepidel a jejich vzájemnému působení. Adheze souvisí s molekulovou strukturou a mezi molekulami působí jak fyzikální, chemické, tak i mezimolekulové síly.

### 2.2 Koheze, adheze [2, 4, 7]

*Koheze* (někdy označována jako vnitřní adheze). Vystihuje schopnost látky v našem případě lepidla jak velkými mezimolekulárními a valenčními silami poutá molekuly lepidla dohromady. Pod pojmem koheze si můžeme představit sílu potřebnou k odtrhnutí jedné částice od ostatních.

*Adheze* neboli přilnavost, je schopnost dvou materiálu k sobě přilnout. Přilnavost je možno popsat jako přilnutí dvou povrchů. Jedná se o schopnost poutání mezimolekulárních přitažlivých chemických a fyzikálních sil na kontaktní plochy. Tyto síly bývají nazývány jako Van der Waalsovy síly. V praxi existuje několik typů adhezí.

#### Nejčastěji citované teorie adheze:

- Elektrostatická teorie
- Difuzní teorie
- Chemická teorie
- Mechanická teorie
- Molekulová teorie

#### ➤ *Elektrostatická*

Tento typ přilnavosti je závislý na spojení dvou odlišných substancí (látek), které jsou základem pro vznik adheze. Jednotlivé části substance se liší v náboji (+, -), přičemž póly s odlišným nábojem se vzájemně přitahují.

Touto reakcí částí dvou substancí vzniká jakýsi kondenzátor. Případný rozdíl



pozorovaný v kondenzátoru se ztrácí při jeho vybití nebo vyžáření jako elektronové emise. Předpokládá se, že náboj vznikne až po dotyku obou vrstev materiálu.

➤ *Difuzní*

Pevnost spoje u tohoto typu přilnavosti vzniká rozptýlením polymerů či jiných látek do prostoru (difuzí). Pevnost spoje je závislá na několika aspektech. Těmi jsou čas, teplota, relativní molekulová hmotnost, viskozita atd. Teorii difuze však není možno použít pro výpočet pevnosti spoje, které získáme z údajů o vlastnostech lepených částí. Tato teorie nemá obecné použití, lze ji aplikovat pouze na specifické materiály.

➤ *Chemická*

Pevný spoj, který bude vykazovat kohezivní lom vyžaduje, aby spojované materiály navzájem reagovaly vytvářením primárních chemických vazeb napříč rozhraním. Lepení však probíhá za jistých termodynamických podmínek, při kterých nevzniká chemická vazba. V případě, že tento případ nastane, není možno říci, jestli vazbové reakce budou probíhat jen napovrch či ne. Z těchto důvodů není možné objektivně posoudit, zda a jaký vliv mohou mít na pevnost lepeného spoje.

➤ *Mechanická*

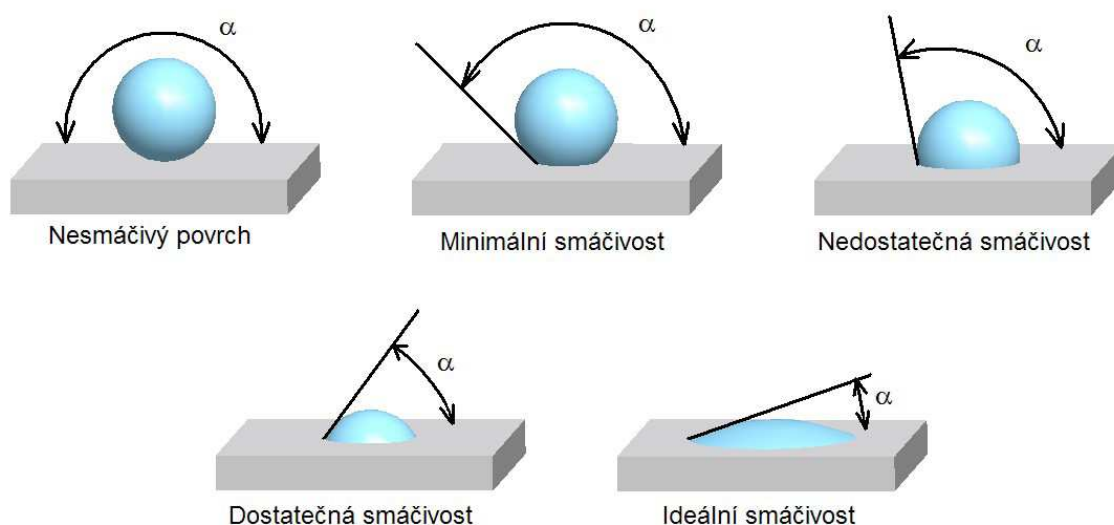
Mechanická teorie adheze je využívána jen sporadicky v určitých případech. Podstatou této teorie je zatečení kapalného adheziva do trhlin adherendu a jejich následné ztuhnutí a tzv. zaklínění. Mechanická teorie adheze je využívána například při výrobě překližek a pryžových směsí k textilním vláknům.

➤ *Molekulová*

Jak již z názvu vyplývá, přilnavost je způsobena vzájemnou reakcí molekul adherendů a lepidla. Lepený spoj vzniká ve dvou fázích. Prvním je přesun molekul adheziva na povrch adherendů. Druhým stupněm je oboustranné působení mezimolekulárních sil ve vzdálenosti menší než 0,5nm. Tato reakce trvá až do doby, kdy dospěje absorpční stability.

## 2.3 Smáčivost lepeného povrchu [3]

Výsledek dobré adheze je závislý na smáčivosti lepeného povrchu. Pokud nanese lepidlo a chceme, aby byla dosažena dobrá smáčivost, mělo by být povrchové napětí adheziva menší než povrchové napětí smáčené plochy. Jednou ze zkoušek pro stanovení smáčivosti je zkouška kapkovou metodou, při které by měl být dotkový úhel  $\alpha$  (úhel smáčivosti) pod  $30^\circ$ , tím se splní předpoklad adhezivní aktivity. Úhel  $\alpha$  se vytváří mezi povrchem a krajem kapky viz obr. 2.1. Mezi látky s největší povrchovou energií patří voda.



Obr. 2.1: Zkouška smáčivosti kapkovou metodou/5/

## 2.4 Výhody a nevýhody lepení [3, 4]

Jako i u jiných technologií, má i technologie lepení své klady i zápory. Výhody a nevýhody lepených spojů se týkají jak ekonomického hlediska tak i technického. Do technického hlediska můžeme zařadit např. pevnost spoje, ovlivnění materiálu, kvalitu spoje atd. Výhody i nevýhody budou popsány v několika bodech.

*Výhody:*

- Technologií lepení jsme schopni spojit dva stejné druhy materiálu např. (ocel – ocel, sklo – sklo, dural – dural,...), ale také dva různé druhy materiálů jako např. (ocel – dural, pryž – ocel, sklo – pryž,...).
- Lepený spoj minimálně ovlivňuje hmotnost spojovaných materiálů, což je výhodou pro miniaturizaci.



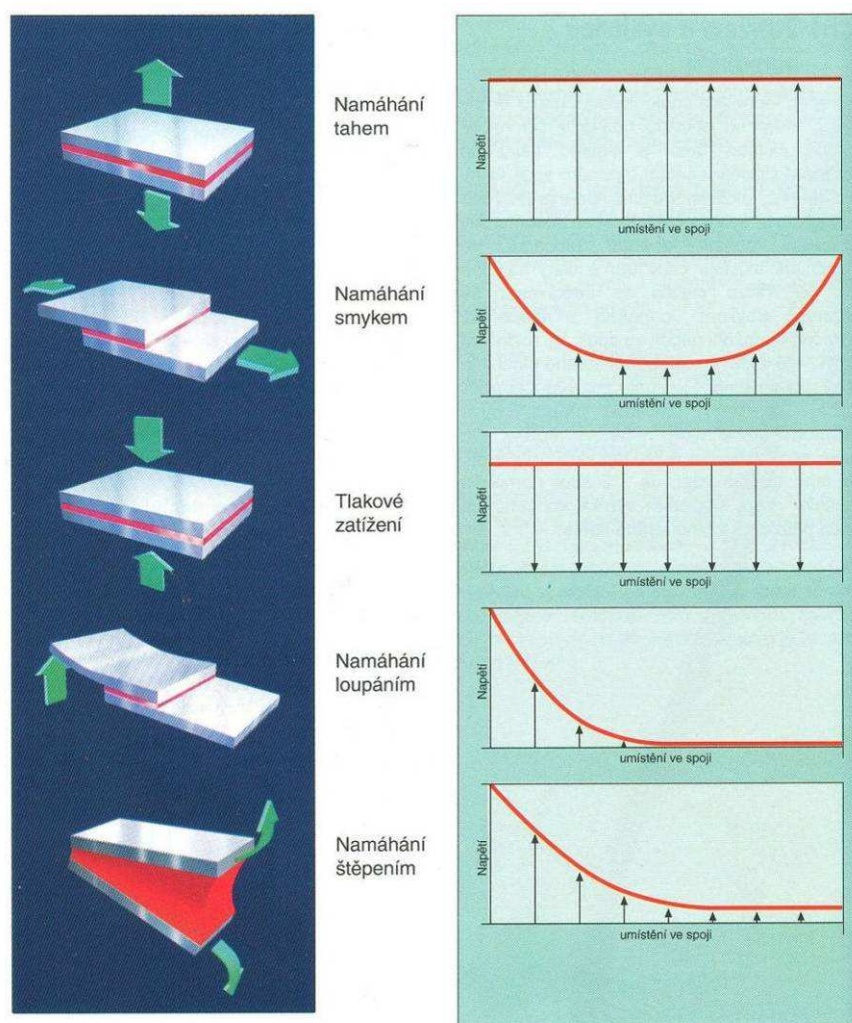
- Lepený spoj může být průhledný, ale také barevně zabarvený.
- Nanesením lepidla není narušena ucelenost, vzhled ani profil lepeného spoje.
- Lepené spoje tlumí vibrace a zvyšují tuhost lepeného souboru.
- Lepené spoje jsou dobře odolné při smykovém namáhání a rázům.

*Nevýhody:*

- Lepené spoje špatně snáší vyšší teploty.
- Lepené spoje jsou náchylné k odlupování.
- Lepené spoje vyžadují rovinnost a čistotu povrchu.
- U adherendů, které mají špatné adhezívní vlastnosti je nutno použít speciální úpravy povrchů např. použití aktivátorů.
- Dosažení maximální pevnosti spoje je až za určitou dobu.
- Trvanlivost některých druhů lepidel je omezená.
- Nutnost vybavení pracoviště (v průmyslu) oproti jiným metodám (nanášecí zařízení, přípravky, lisy, ....)
- U některých druhů lepidel je zapotřebí použít vytvrzovací prostředky, což znamená připravit směs z několika složek (tzv. vícesložková lepidla).

## 2.5 Konstrukce lepených spojů [3, 4, 8]

Lepený spoj je nejčastěji mechanicky namáhán na tah, tlak, smyk, rázovou pevnost apod. Při návrhu lepeného spoje je nutné navrhnout spoj tak, aby byl co nejméně namáhán na odlupování a kroucení. Na tyto dva druhy namáhání je většina lepidel velmi citlivá. Konstrukce lepených spojů se dá rozdělit na spoje s přeplátováním, natupo, násuvné (trubkové), velkoplošné. V práci se zabýváme spojením dvou přeplátovaných plechů pomocí adheziva, kde je spoj namáhán smykem. Pevnost spoje je závislá na druhu materiálu a jeho mechanických vlastnostech a adhezivu, kterým je spojen. Některé druhy spojení můžeme vidět na obrázku 2.2 a obrázku 2.3. Obrázek 2.2 nám také zobrazuje několik druhů namáhání, kterým může být lepený spoj vystaven.



Obr. 2.2: Namáhání lepených spojů /1/

### ➤ Tupé spoje

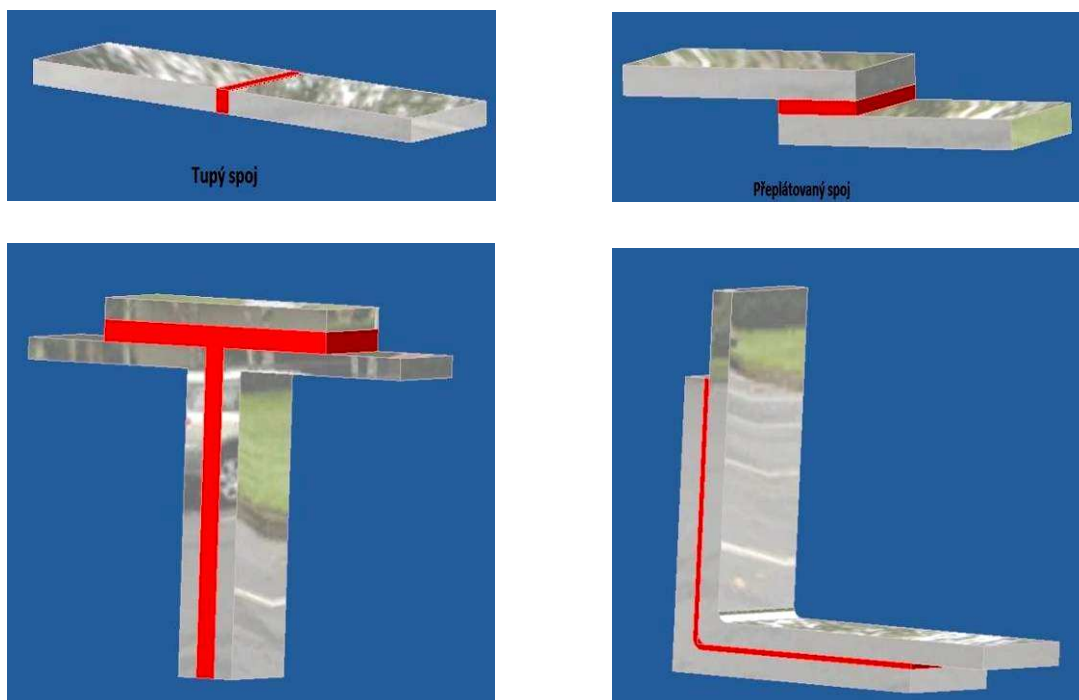
Lepené spoje natupo je vhodné použít jen u tlustších materiálů. Dolní hranice není stanovena, ale pohybuje se okolo 30 – 50mm. Při použití tenčích materiálů je nutno upravovat čelní plochy adherendů. Pokud použijeme, někde tupého spoje viz obr. 2.3, měli bychom dávat pozor na napětí, které v něm vzniká. Pevnost spoje není závislá jen na lepidle, ale také na mechanických vlastnostech adherendu.

### ➤ Překlátované spoje

Jsou obvykle namáhány na tlak popřípadě na smyk. Pevnost je také závislá na tloušťce adherendu a jeho mechanických vlastnostech. Při překlátování je nutné dodržet minimální plochu spojení, kterou můžeme určit



pomocí jednoduchého pravidla: přeplátování má být nejméně pětinásobkem tloušťky lepených dílců.

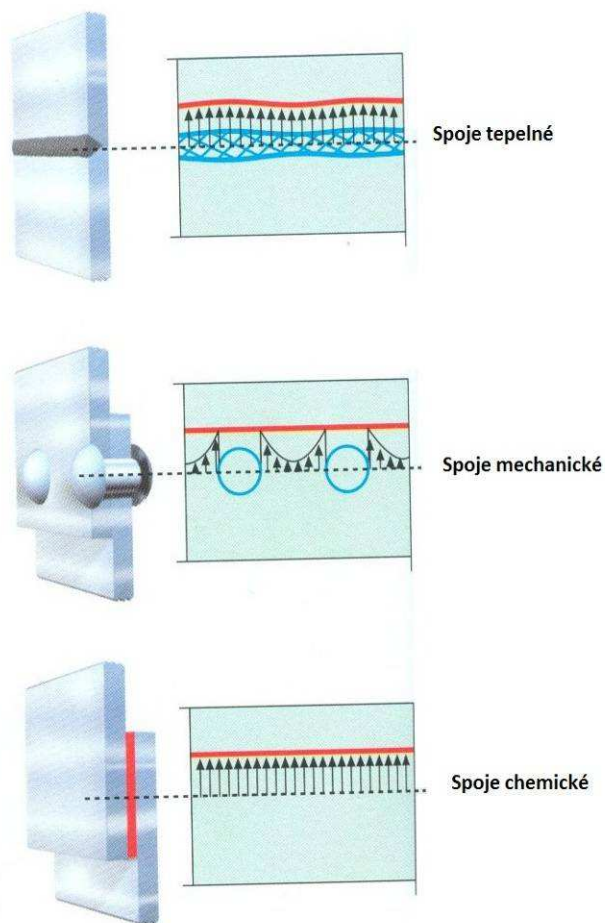


Obr. 2.3: Ukázka lepených spojů

### ➤ Napětí v lepeném spoji

Na obrázku 2.4 je vyznačeno působení napětí na třech nejpoužívanějších technologických spoji. Na prvním obrázku vidíme spoje *tepelné* (svařování), dále *mechanické* (šrouby, nýty) a *chemické* (lepidla). Výhodou lepených spojů je rovnoměrné rozložení napětí oproti uvedeným technologiím.





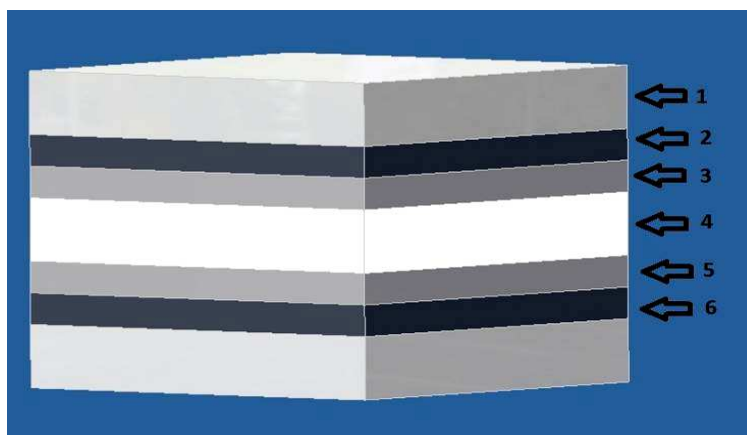
Obr. 2.4: Napětí ve spojích /1/

## 2.6 Struktura lepeného spoje [10]

Z hlediska struktury lze lepený spoj mezi dvěma materiály rozdělit do tří hlavních vrstev a dvě mikrovrstvy viz obr. 2.5.

Jedná se o:

- 1. Adherend (základní materiál)
- 2. Adhezní zóna (oblast adheze)
- 3. Přechodová kohezní zóna (přechod mezi kohezní a adhezní zónou)
- 4. Kohezní zóna (oblast koheze)
- 5. Přechodová kohezní zóna
- 6. Adhezní zóna



Obr. 2.5: Struktura lepeného spoje

## 2.7 Hodnocení lepených spojů [3]

Při hodnocení jakosti lepených spojů se hledí na tři ekvivalentní složky, které jej ovlivňují. Jedná se o druh lepidla, lepenou hmotu a zpracovatelské podmínky. Za vlastnosti vybraných výrobků a jejich hodnot nese plnou zodpovědnost výrobce. Pro určení těchto vlastností se provádějí pravidelné zkoušky jakosti. V naší práci bylo použito destruktivní metody, a to zkoušky smykové pevnosti v tahu. Testování vlastností lepených spojů je velmi široká oblast, proto se zaměříme pouze na rozdělení destruktivních metod viz. kapitola 2.7.1.

### 2.7.1 Destruktivní metody

Mezi destruktivní metody hodnocení vlastností lepených spojů patří zkoušky uvedené v tab. 2.1.

Tab. 2.1: Druhy destruktivních zkoušek

Druhy destruktivních zkoušek
Pevnost lepených spojů ve smyku
Pevnost lepených spojů v tahu
Pevnost lepených spojů odlupováním
Pevnost lepených spojů při namáhání rázem
Zkouška lámavosti lepených spojů
Zkouška soudržnosti lepeného spoje při statickém zatížení
Zkouška trvalé (časové) pevnosti stárnutí





### **Pevnost lepených spojů ve smyku**

Při této zkoušce se používají spoje překlátované, násuvné nebo trubkové. Zkouška probíhá dle normy ČSN EN 1465. Pod tímto označení se provádí pevnost lepeného spoje ve smyku pomocí zatěžování v tahu. Zkouška probíhá až do porušení spoje. Spoj je namáhán statickým tahem ve směru podélné osy. Výsledkem zkoušky je mez pevnosti ve smyku, které nám ukáže zkušební zařízení i s výsledným průběhem napětí. Tato podoba výsledků je použita i v této práci.

### **Pevnost lepených spojů v tahu**

Tímto druhem zkoušky se hodnotí tzv. čelní spoje. Využívá se válcových těles o průměru 25 a výšce 10mm, které jsou normalizovány dle normy ČSN EN 26922. Při zkoušce se měří síla potřebná k roztržení spoje.

### **Pevnost lepených spojů odlupováním**

Podmínkou průběhu této zkoušky je, aby alespoň jeden materiál byl ohebný. Pokud je materiál polotuhý, jeho úhel odlupování se pohybuje pod 90°. Pokud zkouška probíhá (kov – kov) využíváme metody dle Wintera. Průběh zkoušky je zaznamenáván graficky, kde výsledkem je průměrná hodnota určená ze středních hodnot průběhové křivky. Zkouška probíhá dle normy ČSN EN 1464.

### **Pevnost lepených spojů při namáhání rázem**

Zkouška probíhá na kyvadlovém stroji, kde je spoj namáhán rázovým tlakem ve směru podélné osy. Rázovou pevnost můžeme definovat jako nejmenší sílu potřebnou k porušení testovacího vzorku.

### **Zkouška lámavosti lepených spojů**

Zkouška lámavosti probíhá za normálních tak i za zvýšených teplot. Zkouška je vhodná pro tvrdé materiály, kde je spojen kov s kovem nebo kov s plastickou hmotou. V průběhu zkoušky je spoj namáhán statickým tlakem na podélnou osu a plochu spoje až do porušení.

### **Zkouška trvalé (časové) pevnosti stárnutí**



Výsledky této zkoušky jsou jen orientační. Lepené spoje jsou v průběhu jejich používání vystaveny mnoha vlivům, které jim snižují životnost a pevnost. Testovat takto namáhané lepené spoje je velmi časově náročné, tak bylo použito zkušebních cyklů, kde na spoj působí střídavě vroucí voda, proudící vzduch atd. Pro zjištění vlastností se využívá optických metod. Mezi tyto metody patří defektoskopie pomocí radioizotopů a ultrazvuková defektoskopie.

## 2.8 Rozdělení lepidel

Lepené spoje se dají rozdělit podle mnoha kritérií, tato část týkající se dělení spojů je velmi rozsáhlá, proto byla zvolena jedna z několika možností. V práci bylo vybráno dělení podle tuhnutí ve spoji, další možnost rozdělení je například podle chemického složení (přírodní, syntetická), podle teploty zpracování (tuhnoucí za tepla, tuhnoucí za studena), nebo podle složení (jednosložková, dvousložková).

### 2.8.1 Rozdělení lepidel podle tuhnutí ve spoji [2, 3]

#### *a) Lepidla roztoková tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody*

- Při použití těchto lepidel je nutno dodržet poréznost lepených povrchů a propustnost pro plyny.
- Pevnost spoje nastává při vsáknutí a odpaření vody.
- Pokud je rozpouštědlem voda, není spoj náchylný na hořlavost.
- Lepidla patří mezi nejlevnější
- Můžeme sem zahrnout druhy jako: škrobová, dextrinová, kaseinová.

#### *b) Lepidla disperzní a suspenzní, tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody (latexy)*

- U spoje je nutné, aby jeden z adherendů byl pórovitý a propustný pro plyny.
- Tyto lepidla lze ředit vodou, díky malému obsahu organických rozpouštědel.
- Projevují se nízkou viskozitou i při poměrně vysokém množství sušiny až 50%.
- Zpracovávají se za normálních teplot, které ale nesmí klesnout pod hranici, kdy vzniká souvislý polymerní film.
- Patří sem kaučukové latexy, asfaltové emulze.

#### *c) Lepidla roztoková tuhnoucí odtěkáním organických rozpouštědel*



- U těchto druhů lepidel zůstává spoj dlouhou dobu měkký, je to způsobeno tím, že se ve filmu nachází zbytky rozpouštědel, které zpomalují vytvrzování.
  - Obsah sušiny v lepidle je malý, tím vzniká tenký film, který je jen málo schopen zkorigovat nerovnosti na lepených površích.
  - Jedná se o lepidla polyakrylátová, polymethakrylátová, polyamidová atd.
- d) *Lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem zvýšené teploty*
- Lepidla reaktivní jsou ty, které tuhnou působením zvýšení teploty.
  - Hojně používaná v průmyslu.
  - Jsou to lepidla na bázi pryskyřic.
  - Patří sem fenolová lepidla, fenolické lepicí folie.
- e) *Lepidla reaktivní tuhnoucí po přidání tvrdidel*
- Důležité u těchto druhů lepidel je míšený poměr pryskyřice s tvrdidlem. Je možné je naplnit práškovými plnidly až do obsahu 40% hmotnosti základní pryskyřice.
  - Nejčastěji lepené materiály: sklo, kovy a keramika.
  - Do této skupiny můžeme zařadit epoxidové pryskyřice.
- f) *Lepidla tavná*
- Lepidla při normální teplotě jsou ve formě pevných látek, až po zahřátí zkapalní a nanášejí se na lepený povrch. Lepidlo můžeme mít také jako prášek či fólii, která se při zahřátí aktivuje.
  - Výhodou těchto lepidel je, že při ohřátí na určitou teplotu je můžeme znova spojit.
  - Jakmile začne spoj chladnout, je nutné na ně vyvíjet tlak, abychom dosáhli dostatečného ztuhnutí.
  - Jedná se o lepidla polyamidová, polyesterová...
- g) *Lepidla stále lepivá, citlivá na tlak*
- Jedná se o lepidla stále lepivá, která se vyznačují samolepicím efektem.
  - Spojení dosáhneme pouhým přitlačením na pásku či fólii.
  - Nejčastěji se jedná o samolepicí pásy, fólie, štítky.
- h) *Lepidla reaktivní tuhnoucí kontaktem s kovy*
- Jedná se o jednosložková lepidla, které dosahují stavu tuhnutí bez přístupu vzdušného kyslíku.
  - Využívají se k zajištění hřídelí, šroubů, matic atd.



- Dobře vyplňují i velmi malé spáry.
- Jedná se o lepidla akrylátová.

*ch) Lepidla reaktivní, tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí*

- Do této skupiny patří kyanakrylátová lepidla.
- Tuhnutí spoje je započato vzdušnou vlhkostí a probíhá během několika sekund. Zaleží na druhu materiálu a teplotě.
- Film adheziva je elastický a také se při tuhnutí mírně smrští.
- Tento druh lepidel využíván k lepení šperků.

## 2.9 Výběr lepidla [1]

Při výběru vhodného lepidla pro průmyslové aplikace se neobejdeme bez konzultace s výrobcí lepidel. Pro jednodušší počáteční orientaci při výběru lepidla existují pomocné konstrukčně-technologické tabulky pro konstruktéry, viz např. tab. 2.2 od spol. Loctite. Každý výrobce má ovšem své zkušenosti při výběru lepidel a svoje know-how, které upřednostňuje. Při zavádění technologie lepení do průmyslových aplikací, se téměř nikdy neobejdeme bez srovnávacích zkoušek nabízených produktů. Volba lepidla se tedy stává relativně dlouho a nejednoduchou operací.

Tab. 2.2: Tabulka pro výběr lepidla.

<b>Materiál 1 Materiál 2</b>	<b>Kov Keramika</b>	<b>Sklo</b>	<b>Plasty</b>	<b>Guma</b>	<b>Dřevo</b>
<b>Keramika, kov</b>	1,2,3	3,4	1,2,3,4	1,4	1,2,3,4
<b>Sklo</b>	3,4	3,4	3,4	4	3,4
<b>Plasty</b>	1,2,3,4	3,4	3,4	1,4	1,3,4
<b>Guma</b>	1,4	4	1,4	1,4	1,4
<b>Dřevo</b>	1,2,3,4	3,4	1,3,4	1,4	1,4

Vysvětlivky:

- 1. Kyanoakryláty: Dobrá adheze k mnoha materiálům a k lepení menších ploch.
- 2. Konstrukční lepidla: Dělíme je na jedno nebo dvou složkové systémy. Vhodné k vytvoření vysokopevnostních spojů.
- 3. Lepidla vytvrditelná UV zářením: Lepidlo využívané u čirých, nebo UV propustných materiálů.



- 4. Pružná lepidla: Lepidla odolná vůči vibracím a vzájemnému pohybu zapříčiněným tepelnou expanzí. Základem pro tento druh lepidel jsou silikony, polyuretan.

## 2.10 Technologie lepení v automobilovém průmyslu a její využití [11]

Lepení v dnešní době zasahuje do mnoha odvětví průmyslu. Jedny z hlavních spotřebitelů jsou automobilový a letecký průmysl viz obr 2.6. Lepení v automobilovém průmyslu má již letitou tradici, která započala zavedením přímého zasklení předního skla a dále se rozvíjela. Lepení prozatím nepatří mezi hlavní technologie spojování v automobilovém průmyslu, ale spolu s technologiemi svařování a nýtování patří mezi její hlavní druhy. U automobilu BMW řady 5 bylo pro zajímavost použito 65 metrů lepených spojů na celou karoserii.



Obr. 2.6: ukázka produktů leteckého a automobilového průmyslu.

### 2.10.1 Výběr technologie pro výrobu podvozkových dílů u automobilů. [9]

Lepené spoje se postupně posouvají od přímého zasklení, až po spojování pevnostních dílů u automobilů. Dnes technologie lepení plní nepostradatelnou funkci při výrobě automobilů. Technologie lepení má široké uplatnění. Při použití lepeného spoje je důležitá jeho vhodná konstrukce. Tímto problémem se zabýval tým odborníků při stavbě vozu Kaipan 57. Kde si zvolili pět druhů technologií spojování, které následně testovali a zvolili tu nejlepší variantu závislou na ceně a mechanických vlastnostech spoje.

#### *Druhy testovaných technologií:*

- Lepení



- Bodové svařování
- Technologie svařování třením (FSW)
- Technologie svařování (CMT)
- Nýtování

**V technologii lepení bylo použito testování těchto druhů lepidel:**

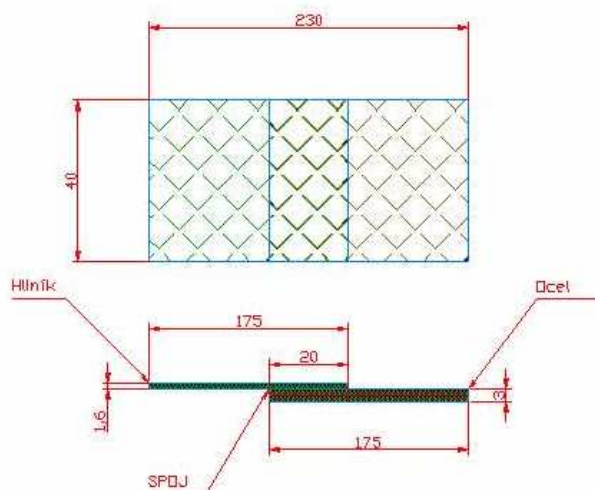
- Pro testování technologie lepení bylo vybráno 5 druhů lepidel.

Jedná se o: *Lepidla od firmy IMPACT adhesive*

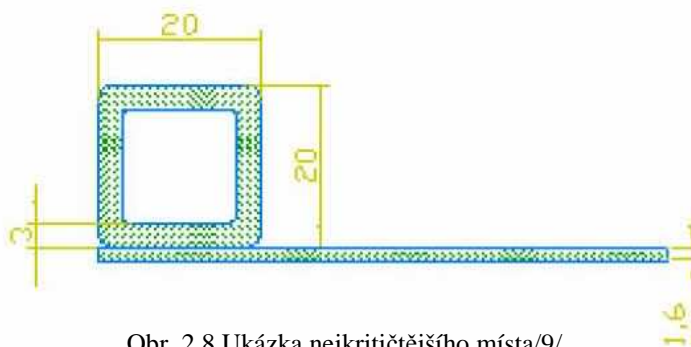
- Konstrukční molekulární lepidlo A 5050
- Konstrukční molekulární lepidlo A 4545
- Plastický hliník M 8216

*Adhezní lepidla od firmy SIKA*

- SikaFast 252
- SikaFast 552



Obr. 2.7 Ukázka přeplátovaného spoje /9/



Obr. 2.8 Ukázka nejkritičtějšího místa/9/

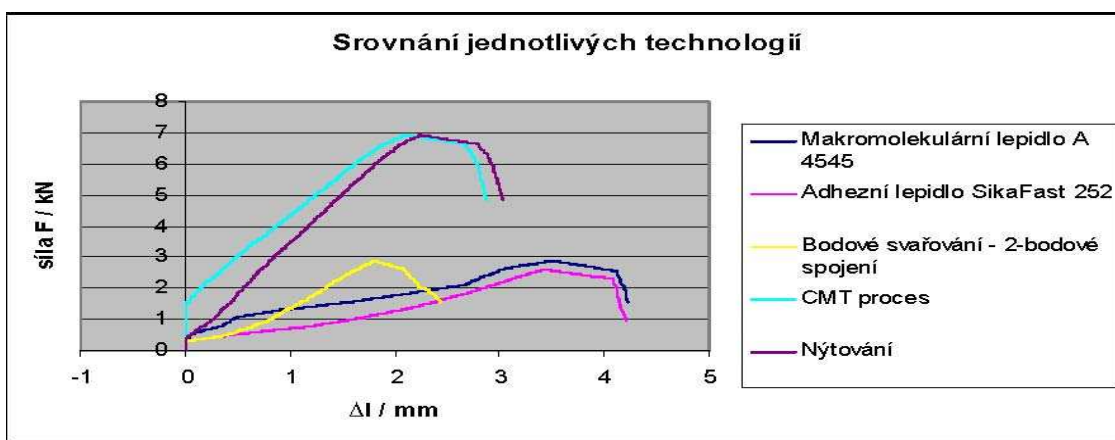


### 2.10.2 Testování spoje a výběr technologie

Pro testování výše uvedených technologií bylo zvoleno nejkritičtější místo a to spojení plechu o rozměrech  $t$  1,6mm s profilovou tyčí 20 x 20mm viz obr 2.8. Pro všechny dané technologie probíhalo samotné testování pomocí překlátování plechů a to tak že, se hliníkový plech 99,5% přeloží o 20mm přes ocelový viz obr 2.7. Tímto spojením bylo nahrazeno kritické místo, které je vhodnější pro vykonání zkoušky a zjištění konečných výsledků. Testy probíhaly pomocí tahové zkoušky smykové pevnosti a jejich výsledky jsou uvedeny v následujícím grafu 2.9 a tabulce 2.3.

Tab. 2.3: Výsledky testu

Technologie	Průměrná síla [kN]	Průměrné prodloužení [mm]
Lepení A4545	7,45	2,15
Lepení SikaFast 252	2,23	4,20
Bodové svařování	2,36	1,97
CMT proces	7,93	2,22
Nýtování	2,46	3,35



Obr. 2.9: Výsledný graf /9/

Z uvedených výsledků dosahuje nejlepších mechanických vlastností technologie CMT, ale s ohledem na výběr nejvhodnější technologie, kde nezáleží pouze na jeho mechanických vlastnostech, ale také na ekonomickém hledisku, byla zvolena za vítěznou technologie lepení. Cena v dnešní době hraje velmi významnou roli při koupi produktu, což se nevyhnulo ani tomuto experimentu. I když rozdíly mezi technologií lepení a CMT nebyly výrazné. Nakonec ekonomické zhodnocení vyšlo lépe pro technologii lepení. I tímto výsledkem se potvrzuje, že technologie lepení



patří v dnešní době na vrchol segmentu spojování materiálů a to jak mechanickými vlastnostmi tak i ekonomickými. Tento výsledek ukazuje, že lepené spoje se v automobilovém průmyslu uplatňují čím dál větší měrou. Lepené spoje zastávají funkci doplňkovou, nebo jak vidíme z výsledku tohoto experimentu, tak mohou nahradit technologii svařování v konstrukčně pevnostních spojích.





### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### 3.1 Cíl experimentu

Cílem tohoto experimentu je zjistit chování a základní mechanické vlastnosti lepených spojů při teplotách pod 0°C. V práci bylo použito dvou druhů lepidel, která se používají v automobilovém průmyslu. Jedná se o lepidla Betamate 1496F a lepidlo SikaPower 492G. Lepidla zvolená pro zkoušku patří do skupiny epoxidových lepidel. Mají odlišnou chemickou strukturu, z čehož vyplývají i jejich odlišné vlastnosti. Testy budou probíhat na trhačím stroji TIRAtest 2300, kde bude zjišťována pevnost překlátovaných spojů za níže uvedených teplot. Experiment probíhal v rozmezí teplot od 0°C do -50°C, přičemž se teplota měnila po 10°C. Počáteční testovaná teplota byla nastavena na -50°C. Podmínky pro měření smykové pevnosti lepidel na překlátovaných spojkách jsou stanoveny normou VW. PV 12.35.

#### 3.2 Výběr materiálů pro experiment

##### Lepidla

##### *Lepidlo BETAMATE 1496F*

- Jednosložkové epoxidové lepidlo BETAMATE 1496F se využívá v automobilovém průmyslu díky vysoké pevnosti spoje. Lepený spoj odolává teplotám do 180°C. Modul pružnosti je 1300MPa, pevnost ve smyku 31MPa při 20°C. Další informace viz materiálový list v příloze č. 1.

Tab. 3.1: Základní informace o lepidlu Betamate 1496F

<b>Betamate 1496F</b>	
Základ	epoxidová pryskyřice
Pevnost v tahu	31 MPa
Hustota (při 23°C)	1190 kg / m <sup>3</sup>
Obsah pevné látky >99 %	>99 %
Forma	pasta
Barva	modrá



### *Lepidlo SikaPower 492G*

- Jednosložkové teplem vytvrditelné epoxidové Lepidlo SikaPower 492G s pevností ve smyku 30 MPa při teplotě 15°C. Lepený spoj je schopen odolávat teplotám do 220°C. Vyznačuje se dobrou přilnavostí k povrchu. Další informace viz materiálový list příloha č. 2.

Tab. 3.2: Základní informace o lepidlu SikaPower 492G

<b>SikaPower 492G</b>	
Základ	Epoxid – Hybrid
Pevnost v tahu	30 MPa
Hustota	1300 kg / m <sup>3</sup>
Obsah pevné látky >99 %	>99 %
Forma	pasta
Barva	černá

### **Použité substráty**

- Pro experiment byly zvoleny dva druhy substrátů. Jedná se o elektrolyticky pozinkovaný, fosfátovaný plech s označením EG+PH a mechanickými vlastnostmi:  $R_m$  (270 – 370MPa),  $R_{p0,2}$  (140 – 240MPa). Jako druhý byl zvolen substrát s označením HDG, což je plech žárově pozinkovaný s mechanickými vlastnostmi:  $R_m$  (270 – 380MPa),  $R_{p0,2}$  (140 – 260MPa). Vlastnosti obou plechů jsou: velice dobrá odolnost vůči korozi, vhodnost pro hluboké tažení, mají velice dobrou jakost povrchu.

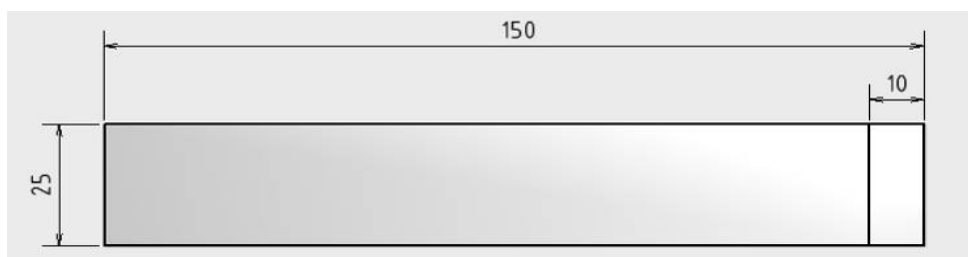
### **Použité mazivo**

- Pro experiment bylo zvoleno mazivo Anticorit PL 3802 – 39 S (typu Prelub) ve vrstvě (3g/m<sup>2</sup>). Tento druh maziva je kompatibilní se všemi běžnými lepicími systémy v automobilovém průmyslu. Mazivo se vyznačuje dobrou antikorozní ochranou a protizáděrovým schopnostem. Využívá se také v ocelárnách jako konzervační olej. Další informace v technickém listu č. 3.

### 3.3 Postup přípravy vzorků

#### Stříhání plechů

Stříhání plechů na tabulových nůžkách. Na počátku stříhání bylo nutno zvolit materiál, který budeme lepit. Byly zvoleny dva druhy plechů. Oba druhy plechů byly nastříhány s rozměry dle obr. 3.1 na 150 x 25mm. Dále následovalo orýsování nastříhaných plechů z důvodu přesnějšího nalepení spoje dle daných rysek. K orýsování, byla zvolena rýsovací jehla.



Obr. 3.1: Rozměry plechu

#### Odmaštění

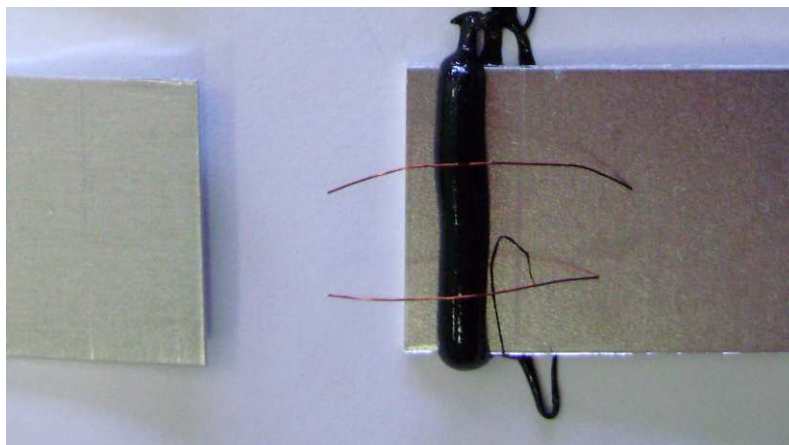
- Nastříhané vzorky je nutno odmastit a očistit. Pro odmaštění bylo použito průmyslové odmašťovadlo Triclean D50. Dále následuje vysušení vzorků. Důvodem odmaštění a očištění bylo odstranění konzervačních maziv z hutí a dalších nečistot, které vznikly při stříhání vzorků.

#### Aplikace maziva

- Na připravené vzorky je nutné nanést mazivo. Mazivo bylo zvoleno díky své antikorozi ochraně a protizáděrovým schopnostem. Mazivo bylo na povrch nanášeno ve vrstvě  $3\text{g}/\text{m}^2$ .

#### Nanesení lepidla

- Na připravené vzorky nanášíme lepidlo v podobě „housenky“ a to na každý ze sto-dvaceti připravených vzorků, do předem vyznačeného místa, které vzniklo orýsováním vzorků ve vzdálenosti 10mm. Po nanesení lepidla vkládáme na „housenky“ pro dodržení konstantní tloušťky distanční drátky viz obr 3.2. Po kompletní přípravě vytvoříme spoj, který zajistíme svorkami viz. obr. 3.3.



Obr. 3.2: Příprava lepeného spoje



Obr. 3.3: Sesevorkování spoje

### Vytvrzování lepených vzorků

- Připravené vorky se dále vkládají do sušárny Venticell 222 s nucenou cirkulací vzduchu a rozsahem teplot od 20 do 250°C viz obrázek 3.4, kde se nechaly 20 minut při 180°C. Všechny vzorky se vkládají najednou na připravený plech z důvodu stejných vlastností po vytvrzení. Plech byl vložen na připravené rošty.



Obr. 3.4: Sušárna Venticell 222.

### 3.4 Zkoušky vzorků

#### 3.4.1 Příprava měření

Před samotným měřením bylo nutné všechny vzorky odsvorkovat a důkladně očistit od přebytečného lepidla. Vzdálenost přelátování vzorků byla u všech vzorků 10mm. Samotné testování proběhlo dle platné normy VW PV 12.35. Experiment probíhal na trhacím stroji TIRAtest 2300 s tenzometrickou snímací hlavou s rozsahem 10kN, viz obr 3.5. Před samotným zkoušením byla nutná instalace chladicí komory a příprava vzduchotechniky na ovládání čelistí.

#### *Trhací zřízení TIRAtest 2300*

- Jedná se o zařízení na měření mechanických vlastností materiálu, jako jsou například namáhání v tlaku a tahu. TIRAtest 2300 využívá systému LabNet, který slouží k vyhodnocování zkoušek namáhaných vzorků. Smyková pevnost spoje se vypočítá z výsledného namáhání ze vztahu 3.1.



(3.1) Výpočet smykové pevnosti

$$\tau = \frac{F_{\max}}{S}$$

$\tau$  - smyková pevnost [MPa]

$F_{\max}$  - maximální síla [N]

$S$  - slepená plocha [ $\text{mm}^2$ ]



Obr. 3.5: TIRAtest2300



### 3.4.2 Průběh zkoušky

Po nastavení nulové polohy čelistí následuje test chladicí komory. Nyní se nastaví požadovaná teplota. Začínalo se ochlazovat na nejnižší teplotu a to  $-50^{\circ}\text{C}$  a dále se teplota měnila po  $10^{\circ}\text{C}$  až na  $0^{\circ}\text{C}$ . Připravené vzorky se vkládaly do vychlazené komory na určitou dobu, aby došlo k temperaci. Ochlazené vzorky začínáme postupně vkládat do rozevřených čelistí, které rozevřeme pomocí pneumatických pedálů. Po uvolnění pedálů následovalo sevření čelistí a vzorek byl pevně upevněn, nyní bylo možné komoru zavřít a spustit zkoušku. Rychlost zatěžování vzorku byla  $50\text{mm/min}$ .

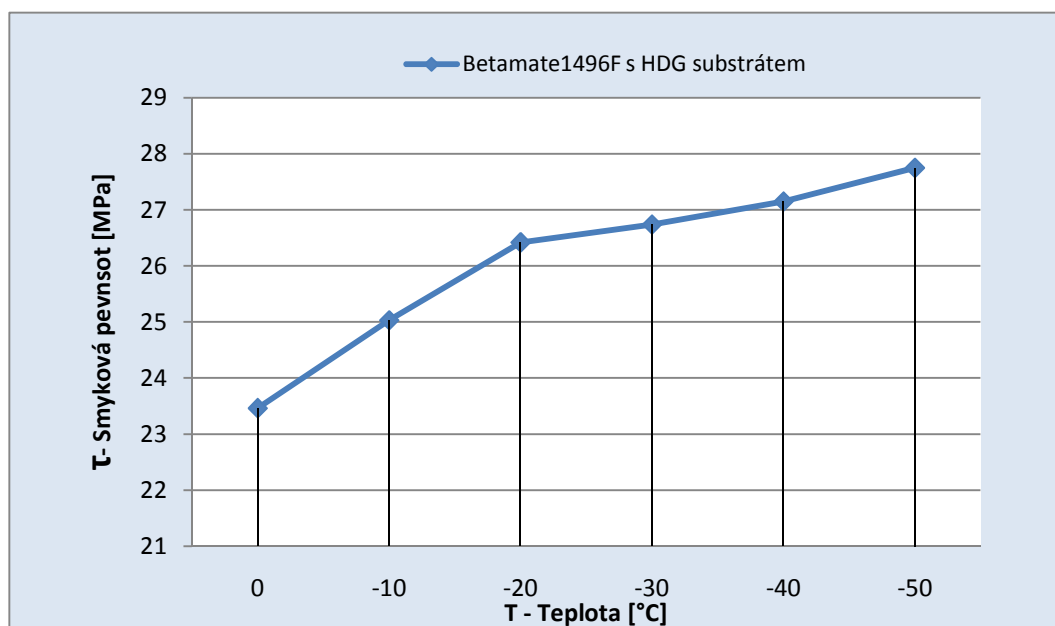


## 4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V níže uvedených grafech a tabulkách jsou uvedené výsledky experimentu, který měl za úkol zjistit závislost smykové pevnosti na teplotách od 0°C do -50°C při smykové zkoušce tahem. Celkem bylo pro každou teplotu použito 5 vzorků a to pro oba druhy lepidel i oba druhy adherendů, které byly zkoušeny na přístroji TIRAtest 2300 viz obr. 3.5.

### 4.1 Vyhodnocení výsledků lepidla Betamate 1496F

V tabulkách 4.1, 4.2 a na obrázcích 4.1 a 4.2 jsou vyobrazeny výsledky smykové pevnosti v tahu lepidla Betamate 1496F jak pro HDG tak i EG+PH plechy. Pro každou teplotu bylo použito pěti vzorků, ze kterých se pak určila střední hodnota a její směrodatná odchylka. Počáteční teplota byla nastavena na -50°C a dále se teplota zvyšovala po 10°C až do 0°C.

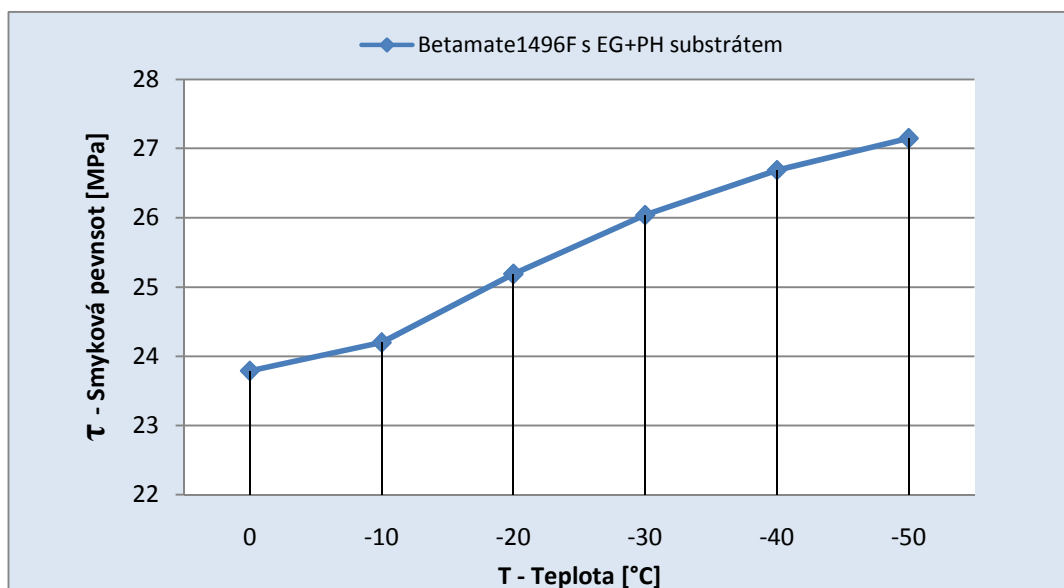


Obr. 4.1: Smyková pevnost při použití HDG substrátu a lepidla Betamate 1496F

Tab. 4.1: Výsledky měření pro HDG substrát za použití lepidla Betamate 1496F

T-Teplota [°C]	0	-10	-20	-30	-40	-50
τ-Smyková pevnost [MPa]	23,46±0,40	25,03±0,23	26,42±0,40	26,74±0,30	27,15±0,10	27,75±0,27





Obr. 4.2: Smyková pevnost při použití EG+PH substrátu a lepidla Betamate 1496F

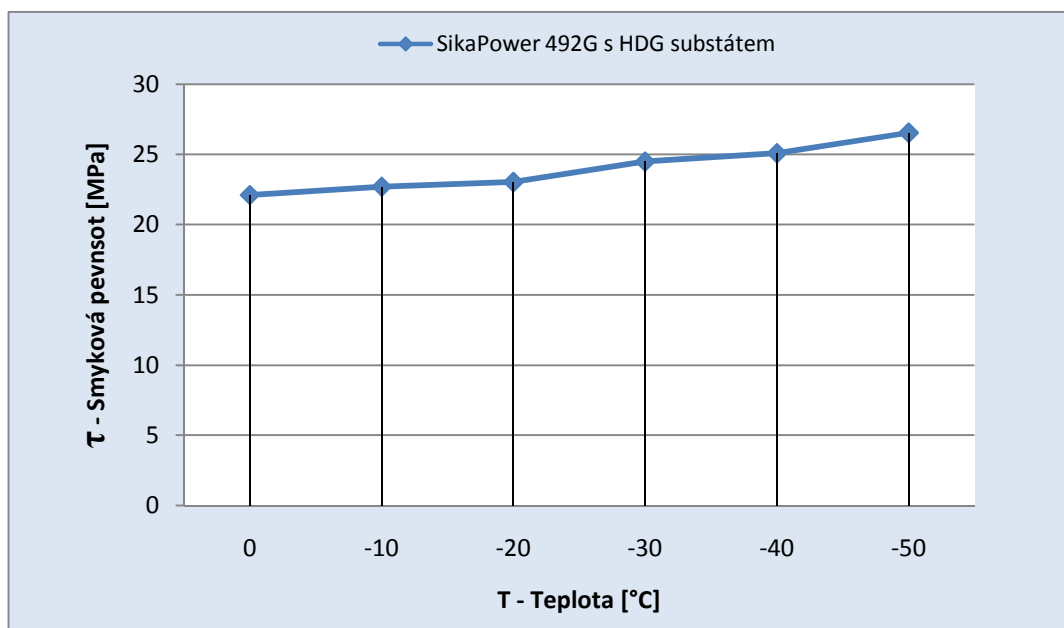
Tab. 4.2: Výsledky měření pro EG+PH substrát za použití lepidla Betamate 1496F

T-Teplota [°C]	0	-10	-20	-30	-40	-50
τ-Smyková pevnost [MPa]	23,79±0,32	24,2±0,31	25,19±0,26	26,04±0,49	26,69±0,29	27,12±0,22

Z výsledných tabulek a grafů se zjistilo, že při snižování teploty začala pomalu narůstat i smyková pevnost. Takto se dělo u obou druhů plechů jak u plechu se substrátem HDG, tak i EG+PH. V mezní teplotě při  $-50^{\circ}\text{C}$  byly naměřeny nejvyšší hodnoty smykové pevnosti, u HDG to bylo  $27,75 \pm 0,1 \text{ MPa}$  a EG+PH  $27,12 \pm 0,22 \text{ MPa}$ .

## 4.2 Vyhodnocení výsledků lepidla SikaPower 492G

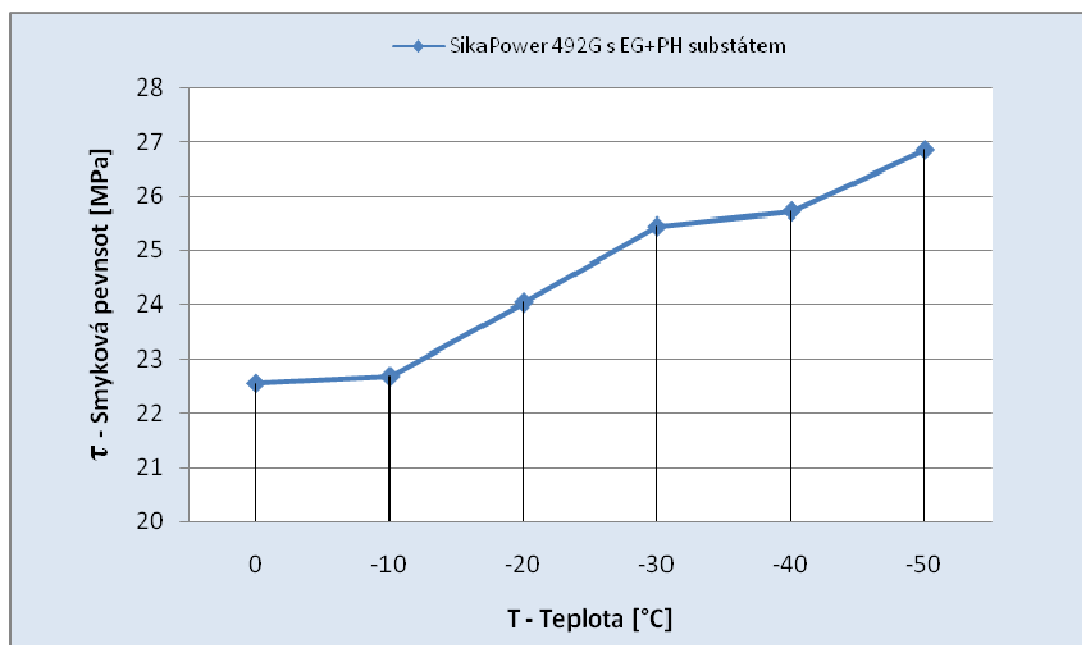
Průběh zkoušky pro lepidlo SikaPower 492G probíhal obdobně jako u lepidla Betamate 1496F. Začátek měření se odehrával při teplotě  $-50^{\circ}\text{C}$ , dále se teplota po  $10^{\circ}\text{C}$  přibližovala k  $0^{\circ}\text{C}$ . Tento postup byl použit při zkoušení obou substrátů jak HDG tak i EG+PH. Průběh zkoušky byl zaznamenán v následujících obrázcích 4.3 a 4.4 a tabulkách 4.3, 4.4.



Obr. 4.3: Smyková pevnost při použití substrátu HDG a lepidla SikaPower 492G

Tab. 4.3: Výsledky měření pro HDG substrát za použití lepidla SikaPower 492G

T-Teplota [°C]	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\tau$ -Smyková pevnost [MPa]	22,1±0,28	22,69±0,30	23,03±0,38	24,49±0,43	25,08±0,66	26,54±0,70



Obr. 4.4: Smyková pevnost při použití substrátu EG+PH a lepidla SikaPower 492G



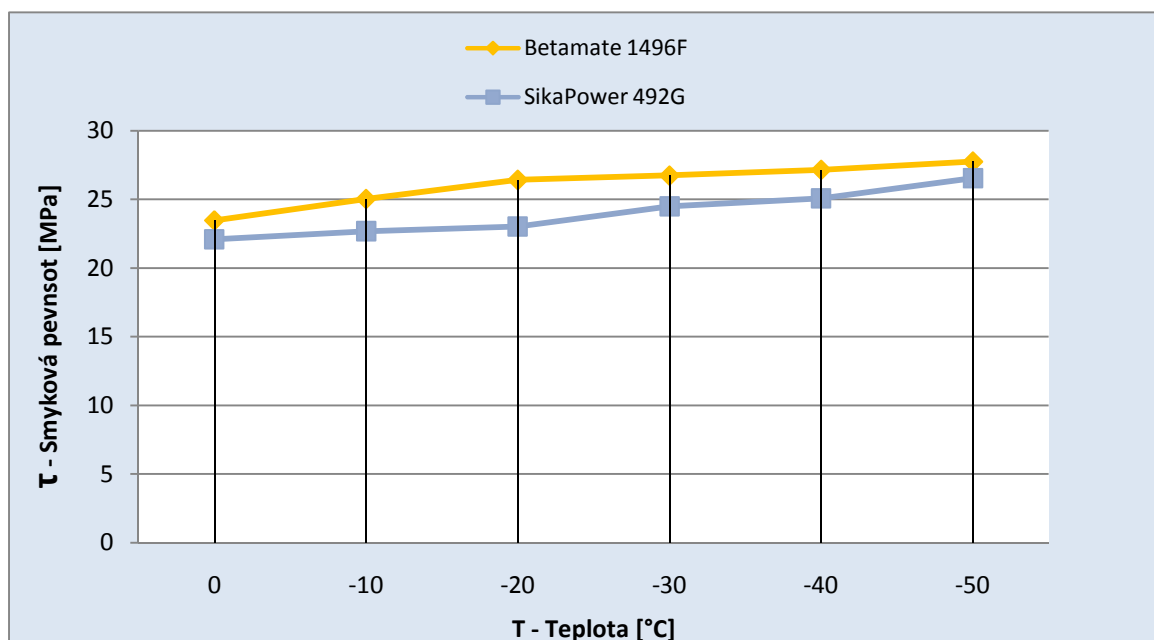
Tab. 4.4: Výsledky měření pro EG+PH substrát za použití lepidla SikaPower 492G

T-Teplota [°C]	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\tau$ -Smyková pevnost [MPa]	22,55±0,30	22,68±0,45	24,04±0,62	25,44±0,47	25,72±0,35	26,85±0,71

Z výsledků měření je zřejmé, že pokud dochází ke snižování teploty tak smyková pevnost spoje stoupá obdobně jako u lepidla Betamate 1496F. Nejvyšší hodnoty smykové pevnosti byly při teplotě -50°C, u HDG substrátu se jednalo o 26,54±0,71MPa a EG+PH 26,85±0,70MPa.

### 4.3 Porovnání lepidel Betamate 1496F a SikaPower 492G se substrátem HDG

Při porovnání výsledků obou lepidel, které vidíme na obr. 4.5 a výsledné hodnoty se směrodatnými odchylkami v tab. 4.5 je zřejmé, že lepidlo Betamate 1496F se snižující se teplotou má vyšší smykovou pevnost než lepidlo SikaPower 492G. Tento výsledek je platný pro každou testovanou teplotu. U Lepidla Betamate 1496F od teploty 0°C až po (-20°C) byl nárůst pevnosti intenzivnější, dále pak pevnost pozvolna stoupá zároveň s teplotou. Lepidlo SikaPower 492G má pozvolný nárůst pevnosti do -20°C pak dochází intenzivnějšímu nárůstu až do teploty -50°C.



Obr. 4.5: Výsledné porovnání obou druhů lepidel se substrátem HDG

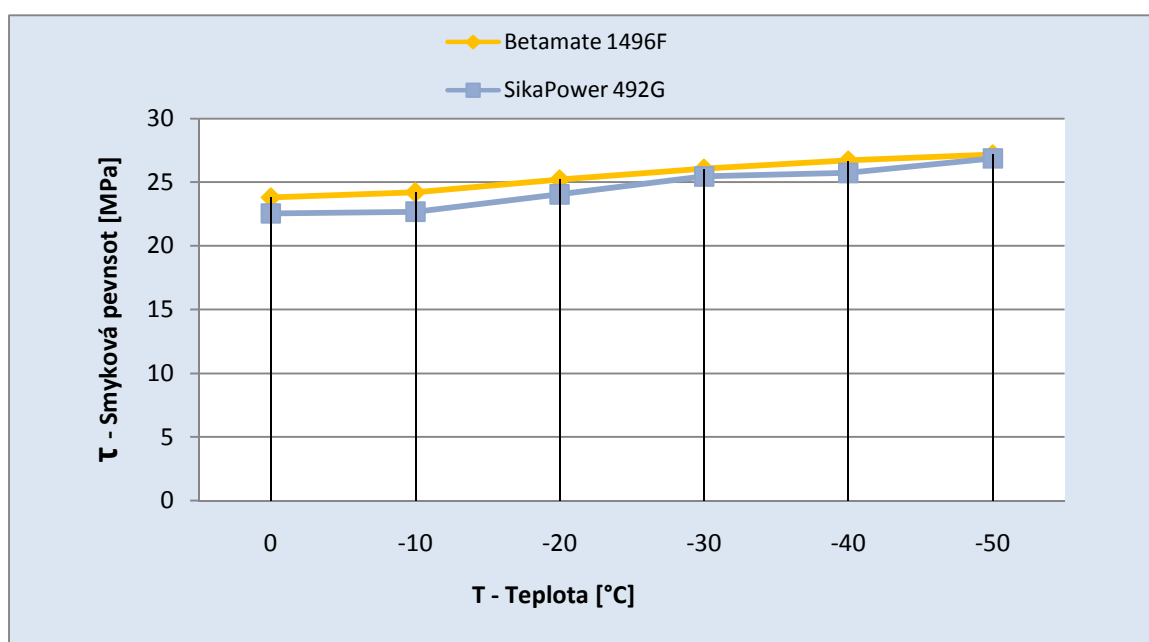


Tab. 4.5: Výsledné hodnoty měření obou lepidel se substrátem HDG

T-Teplota [°C]	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\tau$ -Smyková pevnost [MPa] Betamate 1496F	23,46±0,40	25,03±0,23	26,42±0,40	26,74±0,30	27,15±0,10	27,75±0,27
$\tau$ -Smyková pevnost [MPa] SikaPower 492G	22,1±0,28	22,69±0,30	23,03±0,38	24,49±0,43	25,08±0,66	26,54±0,70

#### 4.4 Porovnání lepidel Betamate 1496F a SikaPower 492G se substrátem EG+PH

Po vyhodnocení srovnávacích grafů obou lepidel viz obr. 4.6 a tabulky 4.6 je možno opět konstatovat, že lepidlo Betamate 1496F dosáhlo vyšších hodnot pevnosti ve smyku oproti lepidlu SikaPower 492G. Hodnoty lepidla Betamate 1496F nejsou však výrazně rozdílné oproti lepidlu SikaPower 492G. Při nižších teplotách můžeme říci, že dostaneme téměř totožné výsledky.



Obr. 4.6: Graf porovnávající pevnost obou lepidel se substrátem EG+PH

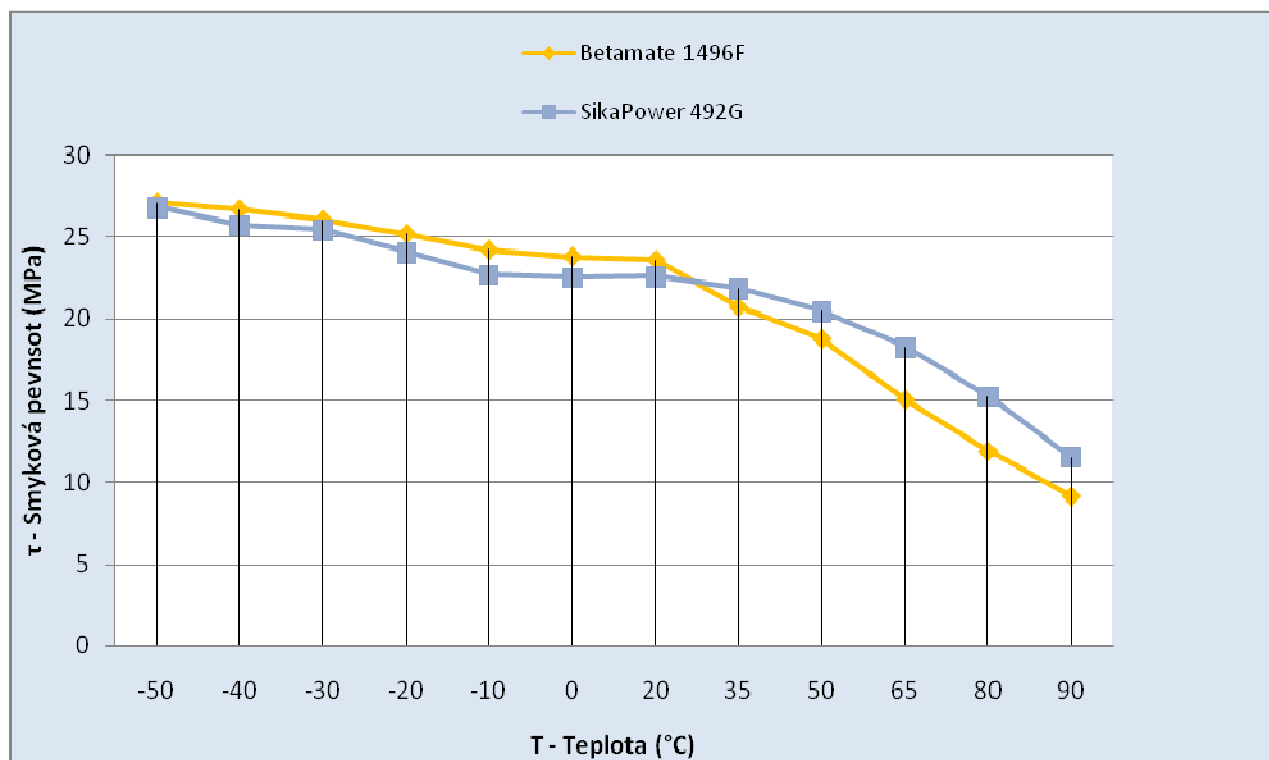


Tab. 4.6: Tabulka s výsledky obou lepidel a substrátem EG+PH

T-Teplota [°C]	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\tau$ -Smyková pevnost [MPa] Betamate 1496F	23,79±0,32	24,2±0,31	25,19±0,26	26,04±0,49	26,69±0,29	27,12±0,22
$\tau$ -Smyková pevnost [MPa] SikaPower 492G	22,55±0,30	22,68±0,45	24,04±0,62	25,44±0,47	25,72±0,35	26,85±0,71

#### 4.5 Komplexní hodnocení lepených spojů v závislosti na teplotě [6]

Velice vhodné bylo pro tuto práci porovnání práce pana Gritzera z roku 2009 [6], kde se testovali stejné druhy lepidel při různých teplotách. V práci [6] byl lepený spoj namáhán zkouškou smykové pevnosti při teplotách (20°C, 35°C, 50°C, 65°C, 80°C, 95°C). V této práci jsme se zabývali opačnými teplotami a to pod 0°C se stejným druhem zkoušky. V naší práci bylo použito dvou substrátů EG+PH a HDG. Pro experiment v práci p. Gritzera [6] bylo použito jen substrátu EG+PH, tudíž jsme srovnání našich výsledků provedli pouze pro substrát EG+PH. Z grafu je patrné, kdy dochází ke zvýšení pevnosti lepeného spoje. Čím nižší je teplota, tím vyšší je pevnost lepeného spoje a to u obou druhů lepidel. Z grafu vidíme, že pevnost obou lepidel nemá výrazné rozdíly. S klesající teplotou od 90°C má vyšší pevnost lepidlo SikaPower 492G, ale to se změní při teplotě okolo +25°C, kde vyšší pevnost má lepidlo Betamate 1496F. Tento stav zůstane až do konečné testovací teploty -50°C. Rozdíly v typu porušení pod 0°C a nad 0°C jsou, že se zde vyskytuje i třetí typ porušení a to adhezivní typ porušení. U lepidla SikaPower 492G se vyskytly jen dva typy porušení u obou mezních teplot, jak nad 0°C, tak pod ní. Jedná se o porušení kohezní a speciálně kohezní. Výsledky obou měření byly zaneseny do tabulky příloha č. 4, a průběh napětí při změně teploty do grafu 4.7.



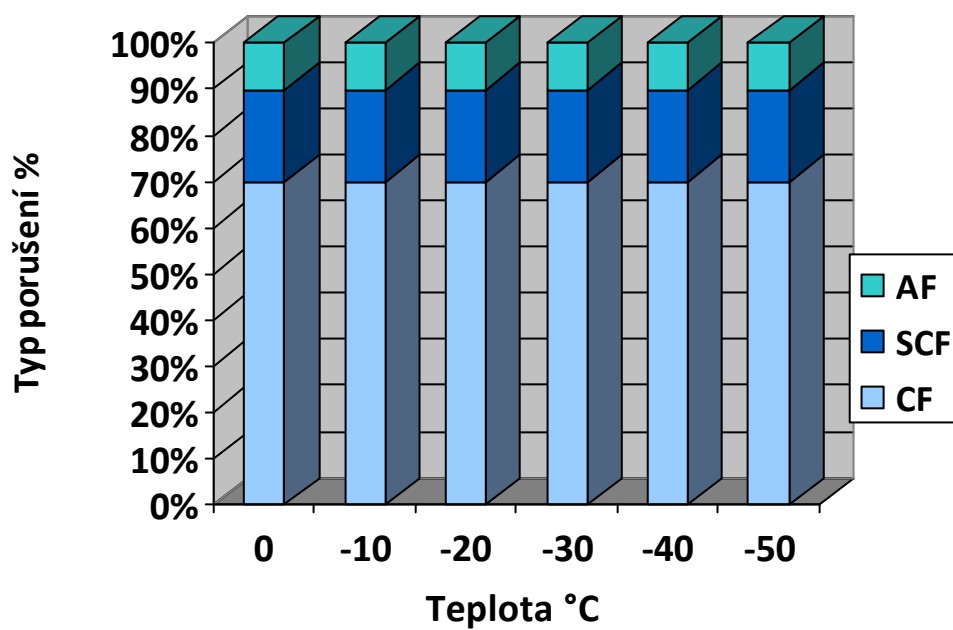
Obr. 4.7: Graf porovnaných výsledků za teplot od 90° - (-50°) s EG+PH substrátem

#### 4.6 Typy porušení lepidla Betamate 1496F

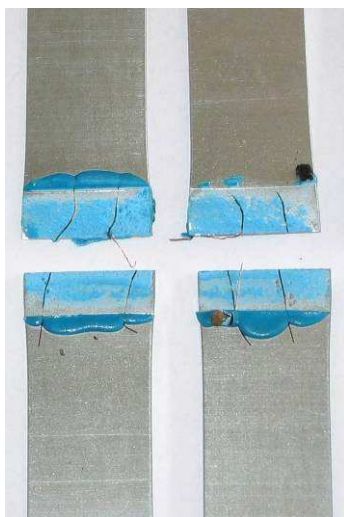
Hodnocení typů porušení se řídí dle zkoušky ČSN ISO 10365. První ze tří typů je kohezní porušení označované jako (CF), dále je zde speciální kohezní porušení (SCF) a adhezní porušení (AF). Lepidlo Betamate 1496F bylo nanášeno na dva druhy plechů se substráty (HDG, EG+PH) popsané v kapitole 3.2.

##### *Hodnocení plechu se substrátem HDG*

- Typ porušení u tohoto druhu spojení lepidla Betamate 1496F a plechu s HDG substrátem vyšlo, že kohezní porušení (CF) je zde z 70%, speciální kohezní porušení (SCF) z 20% a adhezní porušení (AF) z 10%. Tyto výsledky byly stejné při všech měřených teplotách. Na obrázku 4.9 vidíme ukázkou porušeného spoje a na obrázku 4.8 výsledky zanesené do grafu, pro tento případ spoje.



Obr. 4.8: Výsledný graf porušení spoje s HDG substrátem a lepidlem Betamate 1496F

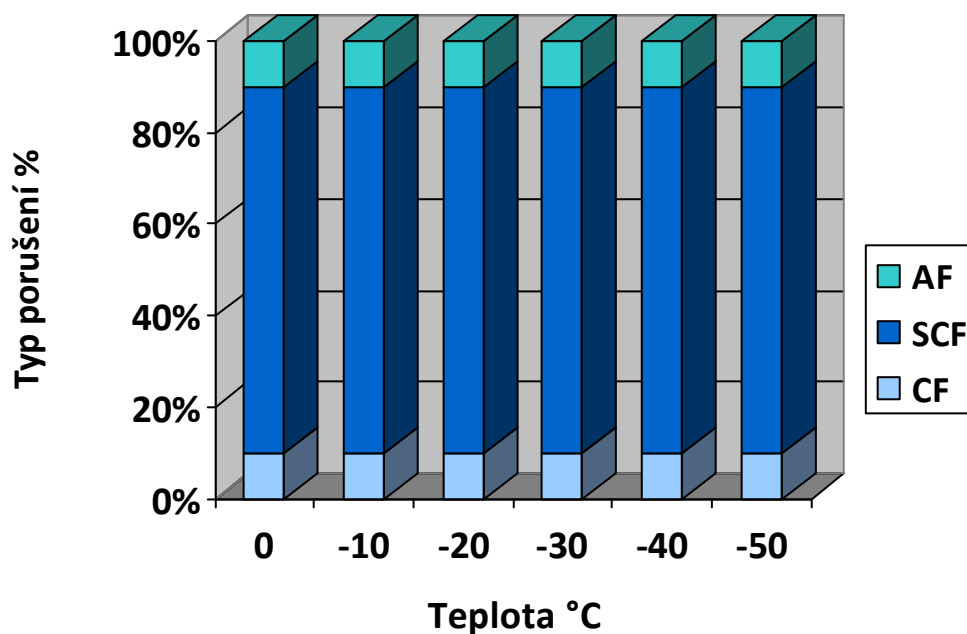


Obr. 4.9: Ukázka porušeného

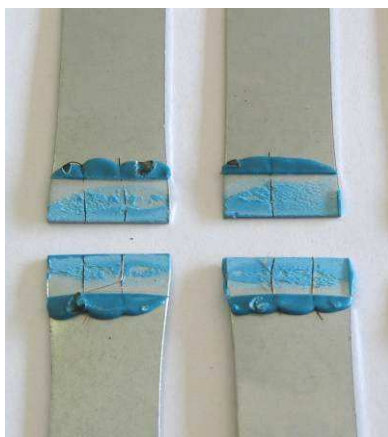


*Hodnocení plechu se substrátem EG+PH*

- Při hodnocení tohoto druhu spojení, byly určeny hodnoty porušení kohezního typu (CF) z 10%, speciální kohezní porušení zde bylo (SCF) z 80% a adhezní porušení (AF) z 10%. Tento typ porušení byl stejný pro všechny zkoušené vzorky tohoto typu spojení. Na obrázku 4.11 vidíme ukázkou porušení a výsledné hodnoty pro tento druh spojení jsou vyobrazeny v grafu obr. 4.10.



Obr. 4.10 Výsledný graf porušení spoje EG+PH substrátem a lepidlem Betamate 1496F



Obr. 4.11: Ukázka porušeného spoje

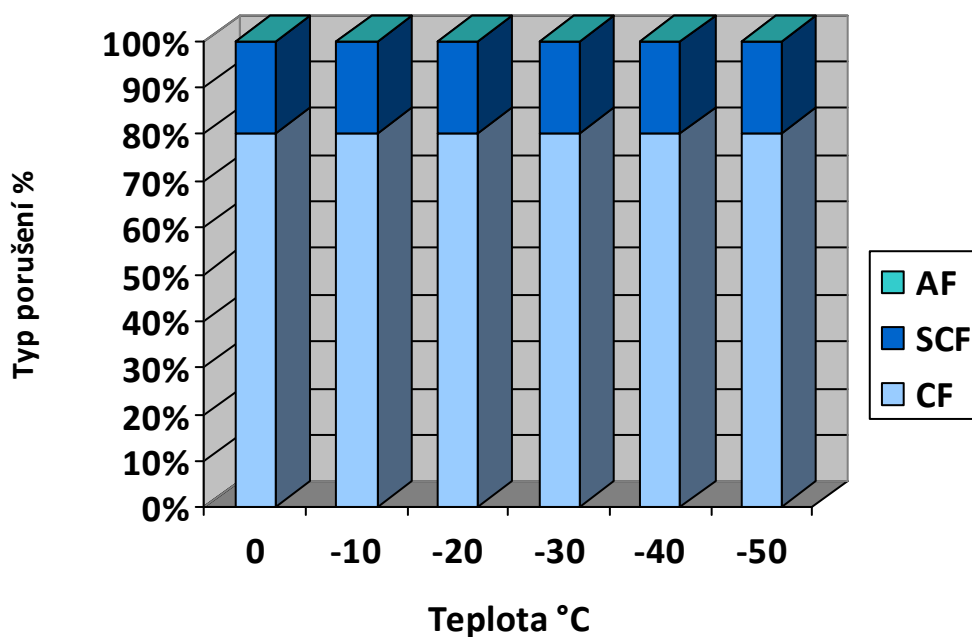




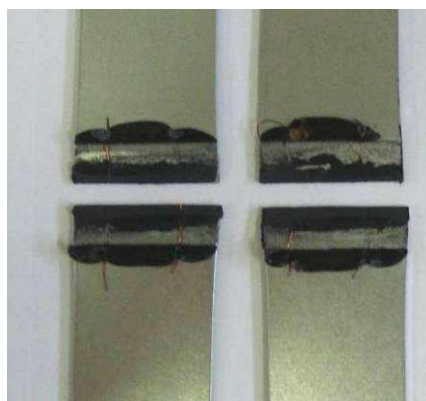
## 4.7 Typy porušení lepidla SikaPower 492G

### *Hodnocení plechu se substrátem HDG*

- U tohoto typu lepidla se nevyskytlo adhezní porušení. Došlo pouze ke koheznímu porušení (CF) s hodnotou 80% a speciálnímu koheznímu porušení (SCF) z 20% a to u všech testovaných teplot. V následujícím obrázku 4.13 vidíme ukázkou tohoto porušení, jehož hodnoty byly zaneseny do grafu obr. 4.12.



Obr. 4.12: Výsledný graf porušení spoje s HDG substrátem a lepidlem SikaPower 492G

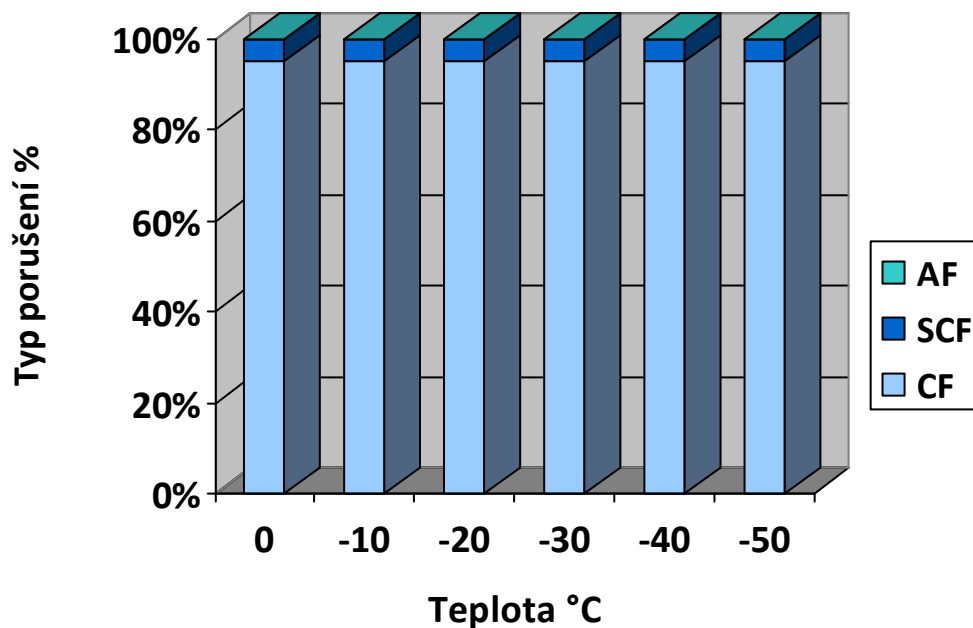


Obr. 4.13: Ukázka porušení

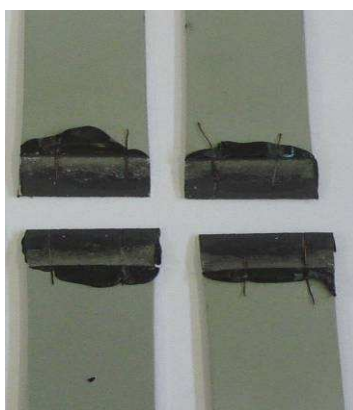


### *Hodnocení plechu se substrátem EG+PH*

- Hodnocení tohoto typu spojení, u kterého převládá kohezní porušení (CF) s hodnotou 95%, dále se zde vyskytuje speciální kohezní porušení (SCF) z 5% a adhezní porušení se zde nevyskytuje. Tyto hodnoty jsou stejné pro všechny použité teploty. Na obrázcích 4.14 a 4.15 vidíme ukázkou porušení a výsledky v grafu.



Obr. 4.14: Výsledný graf porušení spoje s EG+PH substrátem a lepidlem SikaPower 492G



Obr. 4.15 Ukázka porušení



## 5. ZHODNOCENÍ

Cílem bakalářské práce bylo popsat a posoudit chování lepených spojů za teplot nižších než 0°C. Přesněji od 0°C do -50°C, kde ochlazování probíhalo po 10°C. K dispozici byly dva druhy plechů s povrchovými úpravami HDG a EG+PH, na které bylo nanášeno mazivo Anticorit PL 3802 – 39 S a dva druhy lepidel. Jedná se o lepidla Betamate 1496F a SikaPower 492G.

Po naměření a zpracování všech údajů, bylo zjištěno, že se snižováním teploty dochází postupně i ke zvyšování smykové pevnosti. Tento jev se projevil u obou druhů testovaných lepidel. Z toho plyne, že nejnižší hodnoty smykové pevnosti byly naměřeny při 0°C a nejvyšší při -50°C.

První testované lepidlo Betamate 1496F vykazovalo větší smykovou pevnost již od prvních měření a to pro oba zvolené substráty. Takto to zůstalo pro všechny měřené teploty. Při porovnání obou testovaných plechů s lepidlem Betamate 1496F, plech s HDG substrátem vykazoval mírně vyšší hodnoty smykové pevnosti oproti substrátu EG+PH. Nejvyšší naměřená hodnota pro HDG při -50°C byla 27,75MPa a pro substrát s označením EG+PH byla tato hodnota 27,12MPa. Tyto hodnoty byly opět totožné pro všechny vzorky testovaného spoje. Hodnoty zjištěné při laboratorní teplotě (viz. [12]) jsou nižší, než udávají technické listy obou lepidel. Konkrétně lepidlo Betamate 1496F s HDG substrátem má  $\tau = 20,09\text{MPa}$  a s EG+PH substrátem  $\tau = 23,60\text{MPa}$ . Lepidlo SikaPower 492G s HDG substrátem má  $\tau = 20,05\text{MPa}$  a s EG+PH substrátem  $\tau = 22,58\text{MPa}$ . Vezmeme-li tyto hodnoty jako základní, pak pro lepidlo betamate 1496F u substrátu HDG bylo zjištěno maximální zvýšení smykové pevnost při -50°C o 38,1% a u substrátu EG+PH o 14,9%. U tohoto typu lepidla se projeví tři typy porušení a to u obou druhů plechů. U plechu s HDG substrátem je dominantní kohezní porušení, které se objevuje z 70%, speciální kohezní porušení se zde objevuje z 20% a adhezní také z 10%. Tyto hodnoty jsou stejné pro všechny vzorky testovaného spoje. Plech s EG+PH substrátem se vyznačoval hodnotami u kohezního porušení 10%, speciální kohezní porušení 80% a adhezní 10%.

Lepidlo SikaPower 492G se nevyznačovalo tak velkou pevností ve smyku jako lepidlo Betamate 1496F, jeho nejvyšší naměřené hodnoty při -50°C bylo pro substrát HDG 26,54MPa a pro EG+PH 26,85MPa. Nárůst smykové pevnosti oproti hodnotám zjištěným za normálních podmínek (viz. [12]) u lepidla SikaPower 492G



se substrátem HDG bylo 29,5%. U substrátu EG+PH bylo zvýšení smykové pevnosti o 18,9%. Typy porušení, které se objevily u tohoto druhu lepidla, byly pouze dva, a to kohezní a speciální kohezní porušení. U plechu s povrchem HDG, bylo kohezní porušení z 80 % a speciální kohezní porušení z 20 %. Plech s povrchovou úpravou EG+PH měl kohezní porušení z 95 % a speciálně kohezní porušení z 5 %. U lepidla SikaPower 492G tedy převládá kohezní porušení. Toto lepidlo nemá sice tak vysoké výsledky ve smykové pevnosti jako lepidlo Betamate 1496F, ale jeho výsledky v porušení vůči tomuto lepidlu jsou lepší a především tu nedochází k adheznímu porušení.

Po vyhodnocení zvyšující se pevnosti obou substrátů a lepidel je patrné, že substrát HDG spolu s klesající teplotou výrazně zvyšuje svoji pevnost a to pro oba druhy použitých lepidel. U plechu se substrátem EG+PH nebylo zvýšení tak výrazné. Můžeme tedy říci, že lepený spoj se substrátem HDG je více závislý na teplotě, které je vystaven v závislosti na zpevnění, než spojení se substrátem EG+PH.



## 6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce, bylo vyhodnotit chování lepených spojů při teplotách pod 0°C. Hlavním měřítkem pro porovnání vzorků byla jejich výsledná smyková pevnost, kterou jsme zjistili pomocí zkoušky smykové pevnosti překládaných spojů dle PV 12.35.

K provedení zkoušek byly zvoleny dva druhy lepidel, jedná se o lepidla Betamate 1496F a SikaPower 492G. Lepidla byla nanášena na dva druhy plechů s povrchovými úpravami HDG a EG+PH. Po skončení experimentu byly všechny výsledky zpracovány do výsledných tabulek a grafů. Po porovnání výsledků bylo zjištěno, že největší smykovou pevnost má spojení lepidla Betamate 1496F s povrchově upraveným plechem HDG. Všechny testované spoje vykazovaly nejvyšší pevnost ve smyku při nejnižší teplotě (-50°C), lepidlo Betamate 1496F s HDG upraveným plechem nabylo hodnoty 27,75MPa, což byla nejvyšší hodnota získaná v experimentu. Průběh nárůstu smykové pevnosti u lepidel SikaPower 492G a Betamate 1496F se substrátem EG+PH je téměř totožný. U substrátu HDG docházelo mezi výsledky smykové pevnosti pro jednotlivé teploty k vyšším rozdílům. Z vyhodnocení naměřených hodnot vyplývá, že se snižováním teploty zkoušení dochází u všech zkoušených variant ke zvyšování smykové pevnosti spoje. Lepidlo Betamate 1496F mělo vyšší smykovou pevnost při použití obou testovaných plechů, ale po podrobném zkoumání porušených spojů je zřejmé, že vykazuje i adhezní typ porušení, což je nežádoucí jev u lepených spojů. U Lepidla SikaPower 492G se tento druh porušení neobjevil, převládalo zde kohezní porušení. Ze získaných výsledků je dále zřejmé, že snižování teploty zkoušek lepených spojů nemá zásadní vliv na způsob porušení spoje.

Z provedených experimentů je patrné, že s klesající teplotou rostou hodnoty smykové pevnosti lepených spojů. S ohledem na požadavky komplexního hodnocení lepených spojů pro automobilový průmysl by v rámci prováděných experimentů bylo vhodné práci doplnit o hodnocení vlivu korozního zatížení a zkoušky dynamického zatížení.



## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **GRUNDMÜLLER, P. R. e S.:** *Locite worldwide design handbook*. Mnichov : Locite European Group, 1998.
- [2] **KOVAČIČ, L.:** *Lepenie kovov a plastov*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1980. 392 s.
- [3] **OSTEN, M.:** *Práce s lepidly a tmely*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1986. 285 s.
- [4] **PETERKA, J.:** *Lepení konstrukčních materiálů ve trojírenství*. Praha : Nakladatelství technické literatury , 1980. 792 s.
- [5] **BROZOVÁ, V.:** Hodnocení kvality lepených spojů u plechů z hliníkových slitin. Bakalářská práce. TUL 2010.
- [6] **GRITZER, M.:** Teplotní odolnost lepených spojů hlubokotažných plechů. Bakalářská práce. TUL 2009.
- [7] **KOLNEROVÁ, M.:** Technologie lepení v automobilovém průmyslu. [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/lepeni.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf). [Online] 2008. [Citace: 7. 4 2010.] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/hodnoceni%20plechu.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/hodnoceni%20plechu.pdf) 7.4.
- [8] **Ing. GREGOR, M.:** Lepení kovů. [www.uhu.cz](http://www.uhu.cz). Získáno 29. 4 2010, z <http://www.uhu.cz/lepeni-kovu>.
- [9] **Bc. DOLEŽÍLEK, R.:** [www.old.studentcar.cz](http://old.studentcar.cz). [Online] [Citace: 31. 3 2010.] [http://old.studentcar.cz/Dokumenty/Prace\\_stoc\\_2007/STOC\\_Dolezilek.pdf](http://old.studentcar.cz/Dokumenty/Prace_stoc_2007/STOC_Dolezilek.pdf).
- [10] **Ing. GREGOR, M.:** LEPIDLA-TMELY odborné poradenství. [www.gluetechology.eu](http://www.gluetechology.eu). [Online] [Citace: 9. 3 2010.] <http://www.gluetechology.eu/4852/lepeni-lepenie/>.
- [11] [www.auto.cz](http://www.auto.cz). [Online] [Citace: 20. 4 2010.] <http://magazin.auto.cz/predstavujeme/bmw-rady-5-detailni-pohled-druhy-dil.html>.
- [12] Výzkumná zpráva (Lepené spoje) TUL 2009.



## **8. SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Technický list Betamate 1496F

Příloha č. 2: Technický list SikaPower 492G

Příloha č. 3: Technický list Anticorit PL 3802-39 S

Příloha č. 4: Graf komplexního hodnocení lepených spojů v závislosti na teplotě

Příloha č. 5: Fotografie vzorků

Příloha č. 6: Výsledné grafy ze stroje TIRA TEST 2300

## Příloha 1: Technický list – lepidlo Betamate 1496F

Příloha 2: Technický list - lepidlo Betamate 1496F



Dow Automotive

Technisches Datenblatt

# BETAMATE 1496F

Crashstabiler Strukturklebstoff

### Anwendung / Beschreibung:

**BETAMATE 1496F** ist ein einkomponentiger Epoxidklebstoff, welcher speziell für den Einsatz im Rohbau entwickelt wurde. Der Klebstoff wird angewendet, um die Betriebsfestigkeit, die Crashstabilität und die Steifigkeit des Fahrzeuges zu erhöhen.

### Eigenschaften:

- Ausgezeichnete Haftung auf den im Automobilbau verwendeten Stahlsorten, einschliesslich beschichteten Stählen und vorbehandelten Aluminium. Gute Verträglichkeit von Ölen und Trockenschmierstoffen.
- Hilft die Steifigkeit und Crashstabilität des Fahrzeuges zu erhöhen.
- Hohe Beständigkeit des Klebstoffes und der Verklebung.
- Eignet sich zur Abdichtung und schützt damit sowohl das Metall, als auch Schweißpunkte vor Korrosion.
- Kompatibel mit anderen mechanischen und thermischen Fügeverfahren.
- Kompatibel mit dem KTL - Prozess und auswaschbeständig.
- Vorhärt- und vorgelierbar
- 2 - 4 Wochen Offenzeit im gefügten Zustand.

### Applikation:

Das Produkt ist zwischen ca. 40 und 65°C als Raupe applizierbar. Es kann mit folgenden Parametern appliziert werden:

<b>Auftragsgeschwindigkeit</b>	200 - 300 mm/s
<b>Temperaturen:</b>	
Folgeplatte	35 - 40°C
Folgeplatte - Dosierer	Pro Heizzone ca. 5°C Temperaturerhöhung. Im Dosierer maximal 55°C.
Düse	55 - 65°C

Um eine optimale Benetzung des Bauteiles mit dem Klebstoff zu erzielen, sollten die Bauteile bei mindestens 15°C gelagert werden. Bei einer Unterbrechung der Applikation von über 30 Minuten, sollte die Heizung abgestellt werden.

Alle Dow Automotive Produkte werden in erster Linie mit den Automobil-Herstellern für deren Bedürfnisse und gemäss deren Spezifikation entwickelt und von den Kunden für bestimmte Anwendungen freigegeben.

Der Einsatz für andere als die freigegebenen Anwendungen bedarf der vorherigen, schriftlichen Gutheissung durch den technischen Dienst der Dow Automotive.



## Technische Daten:

Basis	Epoxidharz
Farbe	blau
Dichte (DIN 52451) (23°C)	1.19 g/ml
Anteil nichtflüchtiger Bestandteile	> 99 %
Viskosität / Fließgrenze (DIN 53019) (45°C, Bohlin, Modell Casson)	160 Pa.s / 130 Pa
Flammpunkt (DIN 51758)	nicht anwendbar
Aushärtebedingung	> 140 °C / 30 Minuten
Standardaushärtung	180 °C / 30 Minuten
Zugfestigkeit (DIN EN ISO 527-1)	31 MPa
Bruchdehnung (DIN EN ISO 527-1)	ca. 12 %
E-Modul (DIN EN ISO 527-1)	1300 MPa
Zugscherfestigkeit (DIN EN 1465) (CRS 14O3, 1.5 mm; 0.2 mm Klebschichtdicke)	31 MPa
Winkelschälfestigkeit (DIN 53282) (CRS 14O3, 0.5 mm; DX56 D Z100 MB, 0.78 mm; 0.2 mm Klebschichtdicke)	3.5 N/mm 12 N/mm
Schlagschälfestigkeit (ISO 11343) (CRS 14O3, 1 mm, 23°C, 2 m/s; 0.2 mm Klebschichtdicke)	41 N/mm
Vorbehandlung der Klebflächen	Das Material wurde für die Haftung auf öligem Blech mit bis zu 5 g/m <sup>2</sup> Ölaufage entwickelt.
Verarbeitung	<b>aus Kartuschen:</b> Druckluftpistolen mit mechanischem Stempel, oder Handdruckpistolen. <b>aus Hobbock und Fässern:</b> Mit beheizbaren, handelsüblichen Hobbock- und Fasspumpen.
Reinigung	Vor dem Aushärten kann der unausgehärtete Klebstoff mit BETACLEAN 3510 entfernt werden. <b>Achtung:</b> Haftflächen dürfen <u>nicht</u> mit BETACLEAN 3510 gereinigt werden!
Gebinde	<b>Hobbock und Fass:</b> 20, 45, 100 und 200 kg (Mehrweggebinde mit PE-Sack) <b>Kartuschen:</b> 0.36 kg
Lagerstabilität	Das Material ist bei Temperaturen unter 30°C drei Monate verarbeitbar.

Die angegebenen Daten sind Standardwerte.

## Sicherheitshinweise

### Exotherme Reaktion

Das Material reagiert bei Aushärtung exotherm und es entsteht Reaktionswärme, die vor allem bei grösseren Gebinden nur sehr schlecht abgeführt wird. Um dies zu vermeiden, ist das Gebinde von Wärmequellen fernzuhalten.

### Schutzmassnahmen

Die Handhabung von Epoxidharzklebstoffen ist ungefährlich, wenn die Vorschriften für den Umgang mit Chemikalien befolgt werden. Jedoch muss der Kontakt von unausgehärtetem Klebstoff mit Lebensmitteln und Lebensmittelbehältern unbedingt vermieden werden. Ebenso müssen Schutzmassnahmen getroffen werden, um den Hautkontakt zu verhindern. Undurchlässige Plastik- oder Gummihandschuhe und Augenschutz sind unerlässlich. Nach der Handhabung von Klebstoffen muss die Haut mit warmem Wasser und Seife gründlich gereinigt werden. Lösungsmittel sind zu vermeiden. Zur Trocknung der Haut sind Einwegpapiertücher empfehlenswert. Es ist für gute Belüftung zu sorgen. Weitere detaillierte Schutzmassnahmen entnehmen Sie den Sicherheitsdatenblättern.

### Hinweis:

Qualität ist unser oberstes Gebot. Dow Automotive arbeitet mit einem modernen Qualitätsmanagement-System, das die internationalen Anforderungen nach ISO/TS 16949: 2002 erfüllt. Alle Standorte von Dow Automotive sind nach ISO 14001: 2004 zertifiziert.

Alle vorstehenden Angaben, technischen Daten und Empfehlungen beruhen auf Prüfungen, die unseres Erachtens zuverlässig sind. Die Entscheidung, ob Produkte von Dow Automotive für die jeweilige Anwendung geeignet sind, liegt in der alleinigen Verantwortung des Kunden. Eine Freistellung von Patenten von Dow oder Dritten wird weder direkt noch indirekt gewährt.

ES WERDEN HIERMIT KEINERLEI GARANTIE ABGEGEBEN. STILLSCHWEIGENDE GARANTIE ODER GEWÄHRLEISTUNGEN FÜR VERKAUFSFÄHIGKEIT ODER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK SIND AUSDRÜCKLICH AUSGESCHLOSSEN.

#### **Dow Automotive**

Dow Europe GmbH  
Wolleraustrasse 15-17  
CH-8807 Freienbach  
Tel. +41 (0)55 416 81 11  
Fax +41 (0)55 416 82 20

#### **Dow Automotive (Deutschland) GmbH**

Am Kronberger Hang 4  
D-65824 Schwalbach  
Tel. +49 (0)619 65 66 0  
Fax +49 (0)6196 566 444

#### **Dow Automotive (France)**

Dow France S.A.S.  
Z.I. Nord, route d'Amiens  
F-60130 Saint-Just en Chaussée  
Tel. +33 (0)3 44 77 61 00  
Fax +33 (0)3 44 77 61 61

#### **Dow Automotive (España)**

Dow Chemical Iberica S.L.  
Calle Camino del Corral, 7 (Pol. Ind. Alcamar)  
E-28816 Camarma de Esteruelas  
Tel. +34 (9)1 886 61 43  
Fax +34 (9)1 885 75 60

#### **Dow Automotive (UK)**

Dow Chemical Company Limited  
2 Heathrow Boulevard  
284 Bath Road  
West Drayton  
Middlesex, UB7 0DQ  
Tel. +44 (0)208 917 500  
Fax +44 (0)208 917 5400

#### **Dow Automotive (Italy)**

Dow Italia s.r.l.  
Via Patroclo 21  
I-20151 Milan  
Tel. +39 (0)2 48 22 1  
Fax +39 (0)2 48 22 40 66

#### **Dow Automotive (USA)**

The Dow Chemical Company  
250 Harmon Road  
Auburn Hills USA  
MI - 48326  
Tel. +001 248 391 63 00  
Fax +001 248 391 64 17

## Příloha 2: Technický list – lepidlo SikaPower 492G

Produktdatenblatt  
Ausgabe 02 / 2009

### SikaPower®-492G

Der semi-crashfeste Bördelfalzklebstoff

#### Materialkennwerte

Chemische Basis	Epoxid-Hybrid
Farbe (CQP <sup>1</sup> 001)	Schwarz
Gefahrenkennzeichnung	Xi, N
Nichtflüchtige Anteile (CQP 576)	> 99 %
Dichte vor / nach Aushärtung (CQP 576)	ca. 1.30 / 1.35 kg/l
Applikationstemperatur	50 - 60°C (Düse)
Viskosität; 50°C, Oszillations 5 Hz, P/P 25 mm, 1 mm Spalt (CQP 584-1)	ca. 1000 Pa·s
Härungszeit / Objekttemperatur	20 Min. / 175°C
Zugscherfestigkeit <sup>2</sup> , bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 20 MPa
Zugscherfestigkeit <sup>2</sup> , -30°C / +80°C, bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 22 / 15 MPa
Zugscherfestigkeit <sup>2</sup> , 20' 160°C / 40' 200°C, bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 19 / 18 MPa
Zugscherfestigkeit <sup>3</sup> , Blechstärke 1.5 mm, bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 30 MPa
Dynamischer Spaltwiderstand <sup>4</sup> (CQP 580-3,-6 / ISO 11343)	ca. 30 N/mm
Winkelschalkkraft <sup>5</sup> (CQP 580-2,-6 / ISO 11339)	ca. 9 N/mm
Zugfestigkeit <sup>6</sup> (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	ca. 30 MPa
Bruchdehnung <sup>6</sup> (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	ca. 8 %
Glasumwandlungstemperatur, DMTA (CQP 509 / DIN EN ISO 6721, EN 61006)	ca. 105°C
Haltbarkeit bei 23°C (CQP 584-1)	8 Monate

<sup>1</sup> CQP = Corporate Quality Procedures

<sup>2</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 25 x 10 x 0.3 mm; Zuggeschwindigkeit: 10 mm/Min.

<sup>3</sup> H320 ZE 50/50 1.5 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 25 x 10 x 0.3 mm; Zuggeschwindigkeit: 10 mm/Min.

<sup>4</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 20 x 30 x 0.3 mm; Auftreffgeschwindigkeit: 2.0 m/s.

<sup>5</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 25 x 100 x 0.3 mm; Zuggeschwindigkeit: 100 mm/Min.

<sup>6</sup> Zuggeschwindigkeit: 2 mm/Min.

#### Beschreibung

SikaPower®-492G (LVP) ist ein einkomponentiger, wärmepolymerisierender, hitzehärtender, hochstrukturierter, zähmodifizierter Klebstoff auf Epoxidharz-Basis.

SikaPower®-492G (LVP) ist zur Verklebung von Blechen im Rohbau konzipiert, wobei der Klebstoff durch Wärme, zum Beispiel im KTL-Ofen, zu einem hoch belastbaren Duromer aushärtet.

SikaPower®-492G (LVP) wird in Übereinstimmung mit dem Qualitätssicherungssystem ISO-9001/14001 und dem Responsible Care Programm hergestellt.

#### Produktvorteile

- Einkomponentig
- Hochfest
- Haftung auf beölten Untergründen
- Hohe Auswaschbeständigkeit
- Geeignet zum Fügen unterschiedlicher Metalle
- Enthält feine Glaskugeln
- Ermöglicht verzugsfreies Fügen
- Schützt zusätzlich vor Korrosion
- Keine Beschädigung der Füge-teile
- Enthält keine Lösemittel, PVC oder freie Isocyanate

#### Anwendungsbereich

SikaPower®-492G (LVP) ermöglicht das hochstrukturelle Verbinden von verschiedenen Metallarten. Der Klebstoff ist geeignet zur Anwendung als Bördelfalzklebstoff. Die im Klebstoff enthaltenen Glaskugeln sorgen für eine uniforme Klebschichtdicke im Spalt und verhindern ein übermäßiges Ausquetschen des Klebstoffes. Das Verkleben von beölten Untergründen (gängige Korrosionsschutz-, Tiefziehöle, ca. 2 g/m<sup>2</sup>) ist aufgrund der Ölaufnahme bei der Heißhärtung möglich.



#### Verarbeitungshinweise

SikaPower®-492G (LVP) wird im Raupenauftrag mit einem empfohlenen Durchmesser von 1 bis 3 mm appliziert. SikaPower®-492G (LVP) wird bei der Abfüllung mit einer Maschenweite von 300 µm filtriert.

Aufgrund der temperaturabhängigen Viskosität (siehe Diagramm 1) müssen alle Anlagenteile, die mit dem Klebstoff in Berührung kommen beheizt werden. Wir empfehlen eine stufenweise Temperierung von der Fassfolgeplatte (40°C) bis zur Applikationstemperatur (Düse, 55°C). Zur Schonung der Dichtungen und zur besseren Entnahme der aufgeschnittenen Folien-Rondelle empfehlen wir dringend, das neue Gebinde 15 Minuten vorzuwärmen und erst dann die Folien-Rondelle zu entfernen. Bei längeren Stillstandzeiten (z.B. nachts oder am Wochenende) empfehlen wir die Anlage auszuschalten und den Druck zu entlasten (Pumpe und Dosierer).

Die im Klebstoff enthaltenen Glaskugeln beeinflussen den Auftrag mit herkömmlichen Applikationsanlagen nicht.

Zwischen Applikation und Härtung darf kein zu grosser Zeitraum liegen, da durch Feuchtigkeitsaufnahme (vom Klima abhängig) bei der thermischen Härtung eine Blasenbildung nicht ausgeschlossen werden kann. Ein Anhaltswert zur Prozessplanung: Eine Blasenbildung bei Lagerung bei 23°C und 80% relative Luftfeuchte im gefügten Zustand über zwei Wochen wurde nicht beobachtet, ein Abfall des dynamischen Spaltwiderstands wurde auch nach vier Wochen nicht festgestellt. Wird diese Zeit jedoch überschritten, ist eine Vorhärtung von 15 Minuten bei 160°C (Objekttemperatur) notwendig.

Für eine projektbezogene Beratung zur Applikationstechnik wenden Sie sich bitte an die Abteilung Corporate System Engineering (Sika Services AG). Für anwendungsbezogene Beratung (Technischer Service) wenden Sie sich bitte an die Sika Automotive GmbH.

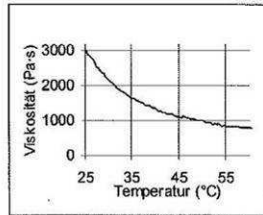


Diagramm 1: Viskosität in Abhängigkeit der Temperatur (Gerät: Physica)

#### Härtung

SikaPower®-492G (LVP) wird mit Hilfe von Wärme ausgehärtet. Die Aushärtung ist sowohl temperatur- wie auch zeitabhängig. Als Wärmequellen kommen insbesondere Konvektionsöfen zur Anwendung. Eine maximale Temperatur von 220°C darf dabei nicht überschritten werden.

#### Weitere Informationen

Folgende Dokumente sind auf Anfrage erhältlich:

- Sicherheitsdatenblatt
- Pumpenspezifikation

#### Gebindeeinheiten

Kartuschen	310 ml
Hobbock <sup>1)</sup>	23 l
Hobbock	50 l
Fass	195 l

<sup>1)</sup> 280 mm Durchmesser

#### Messwerte

Alle in diesem Produktdatenblatt aufgeführten technischen Daten stammen aus Laborversuchen. Von uns nicht beeinflussbare Umstände können zu Abweichungen der effektiven Werte führen.

#### Länderspezifische Daten

Die Angaben in diesem Produktdatenblatt sind gültig für das entsprechende, von der Sika Schweiz AG ausgelieferte Produkt. Bitte berücksichtigen Sie, dass die Angaben in anderen Ländern davon abweichen können; beachten Sie im Ausland das lokale Produktdatenblatt.

#### Wichtige Sicherheitshinweise

Für detaillierte Angaben betreffend Sicherheit, Lagerung und Verwendung des entsprechenden Produkts, konsultieren Sie das aktuelle Sicherheitsdatenblatt.

#### Rechtliche Hinweise

Die vorstehenden Angaben, insbesondere die Vorschläge für die Verarbeitung und Verwendung unserer Produkte, beruhen auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen im Normalfall, vorausgesetzt die Produkte wurden sachgerecht gelagert und angewandt. Wegen der unterschiedlichen Materialien, Untergründen und abweichenden Arbeitsbedingungen kann eine Gewährleistung eines Arbeitsergebnisses oder eine Haftung, aus welchem Rechtsverhältnis auch immer, weder aus diesen Hinweisen, noch aus einer mündlichen Beratung begründet werden, es sei denn, dass uns insoweit Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt. Hierbei hat der Anwender nachzuweisen, dass er schriftlich alle Kenntnisse, die zur sachgemässen und erfolgversprechenden Beurteilung durch Sika erforderlich sind, Sika rechtzeitig und vollständig übermittelt wurden. Der Anwender hat die Produkte auf ihre Eignung für den vorgesehenen Anwendungszweck zu prüfen. Änderungen der Produktspezifikationen bleiben vorbehalten. Schutzrechte Dritter sind zu beachten. Im Übrigen gelten unsere jeweiligen Verkaufs- und Lieferbedingungen. Es gilt das jeweils neueste Produktdatenblatt, das von uns angefordert werden sollte.



Weitere Informationen unter:

[www.sika.ch](http://www.sika.ch)

[www.sika.com](http://www.sika.com)

Sika Automotive GmbH  
Reichsbahnstrasse 99  
D-22525 Hamburg  
Germany  
Tel. +49405400-0  
Fax +494054002-241





## Produkt- I N F O R M A C E



### ANTICORIT PL 3802-39 S

PI 3-4211

#### Popis

ANTICORIT PL 3802-39 S je olej typu Prelube, to znamená ochranný antikoroziční olej i tvářecí mazivo pro použití v ocelárnách.

ANTICORIT PL 3802-39 S se vyznačuje následujícími speciálními vlastnostmi:

- bezpečná antikoroziční ochrana i za extrémních klimatických podmínek
- optimální tvářecí výkon i pro obtížné tahy
- vhodnost pro zušlechťené plechy (Z, ZE, ZNE, ZF, fosfátované i nefosfátované), jakož i pro normální ocelové plechy
- snadná odstranitelnost i po stárnutí a tepelném zatížení
- kompatibilita se všemi běžnými lepicími systémy při výrobě automobilů
- vysoká snášenlivost s katalytickými laky a laky s nízkým obsahem rozpouštědel a pigmentů
- nezatěžuje pracovní prostředí díky základovému oleji bez obsahu těžkých kovů a halogenů a s nízkým obsahem aromátů.

ANTICORIT PL 3802-39 S se používá převážně jako konzervační olej v ocelárnách, může však být nanesen i jako tvářecí látka bezprostředně před tvářením.

#### Použití

Nanášení lze provádět všemi způsoby nástřiku (přednostně elektrostaticky) ale také naválčováním.

Doporučená pracovní teplota pro nástřik a filtraci je 40 - 65 °C.

Jako u všech tixotropních látek může dojít po delší době skladování k lehkému usazování látek, zajišťujících tixotropní účinky.

ANTICORIT PL 3802-39 S je skladovatelný v uzavřeném originálním balení při teplotě 5 - 40 °C minimálně 5 let.

#### Charakteristika

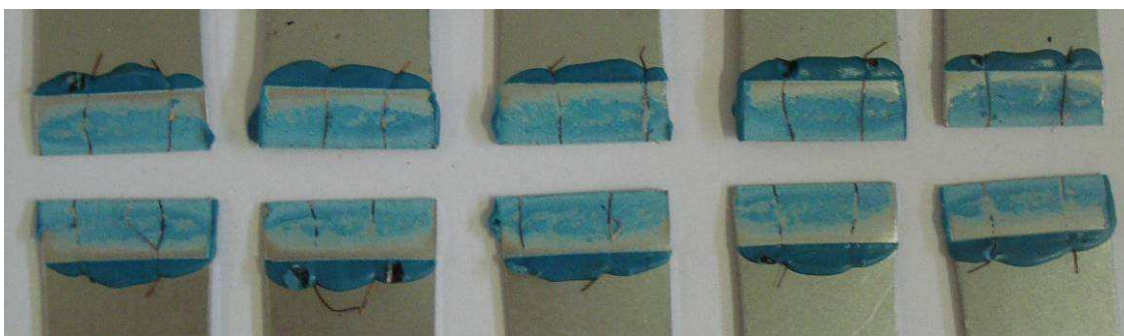
Vlastnosti	Jednotka	Údaje	Zkouška dle
Číslo barvy	-	3,5	DIN ISO 2049
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	915	DIN 51 757
Viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	60	DIN 51 562
Bod vzplanutí	°C	196	DIN ISO 2592
Obsah vody	% hmotnosti	< 0,2	DIN 51 777-2
Odstranitelnost	-	vyhovuje	VW 52.02
Obsah aromátů v základovém oleji	% hmotnosti	< 7	Zkušební metoda VN čís. TML 1 *)
<b>Antikoroziční vlastnosti (St 1405)</b>			
Kondenzační komora	h	200	ASTM D 1748
Klimatická komora	cykly	> 20	DIN 51 386-1
Solná komora	h	24	DIN 50 021 SS

\*) VM = zkušební metoda Vauxhall Motors Limited

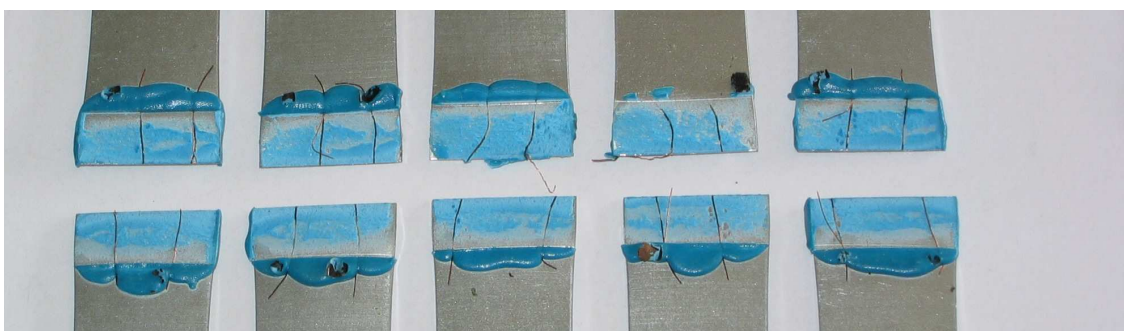
Příloha 4: Graf komplexního hodnocení lepených spojů v závislosti na teplotě

T-Teplota (°C)	95	80	65	50	35	20	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\tau$ - Betamate 1496F(MPa)	9,14±0,39	11,88±0,87	15,05±0,78	18,76±0,63	20,71±0,83	23,6±0,46	23,79±0,32	24,2±0,31	25,19±0,26	26,04±0,49	26,69±0,29	27,12±0,22
$\tau$ - SP492G(MPa)	11,5±0,57	15,24±0,83	18,24±0,57	20,45±0,86	21,85±0,81	22,58±0,62	22,55±0,30	22,68±0,45	24,04±0,62	25,44±0,47	25,72±0,35	26,85±0,71

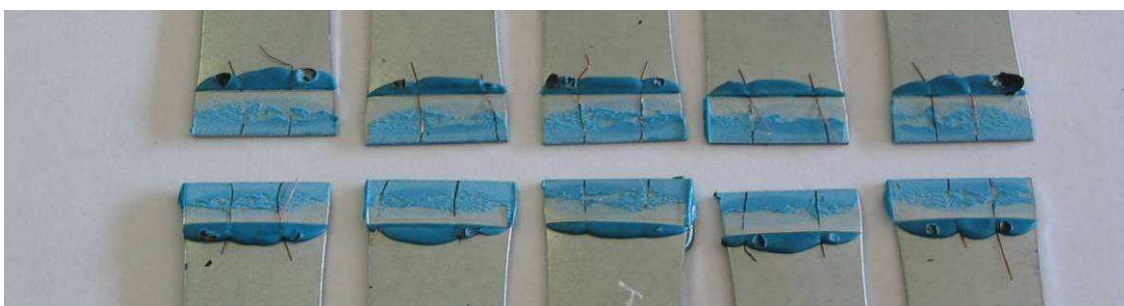
## Příloha 5: Fotografie vzorků



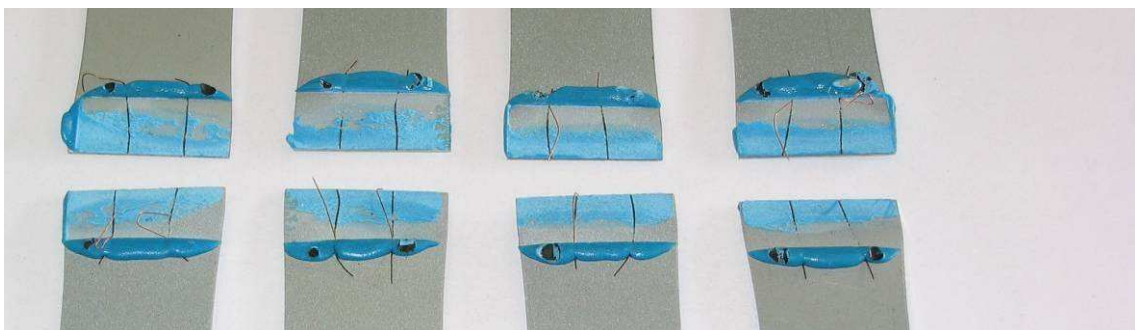
P. 4.1: Ukázka 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě 0°C



P. 4.2: Ukázka 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-10°C)

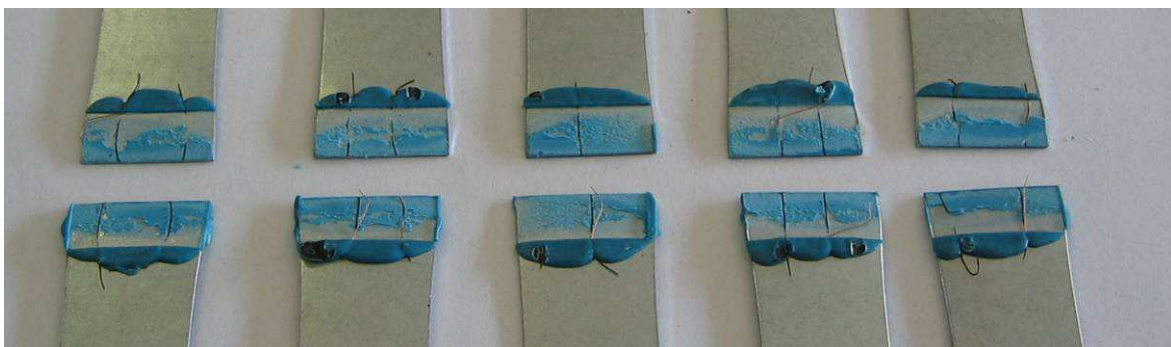


P. 4.3: Ukázka 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-20°C)

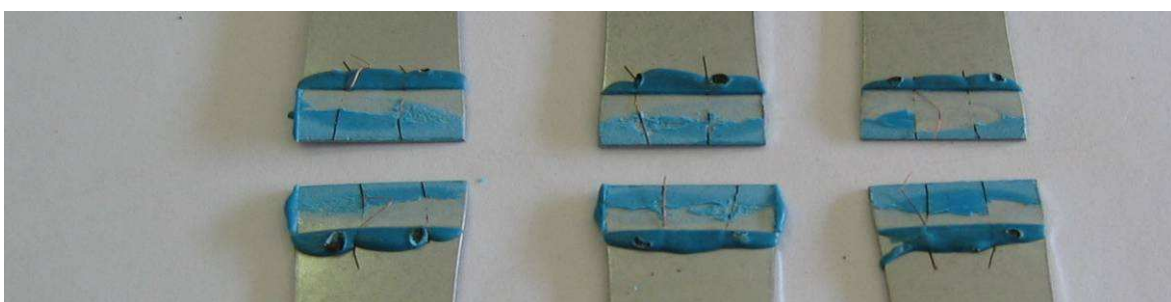


P. 4.4: Ukázka 4 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-30°C)

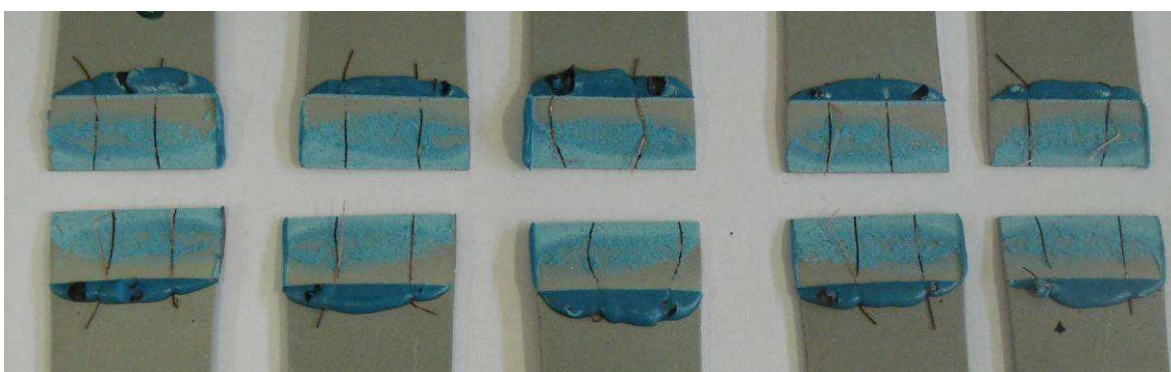




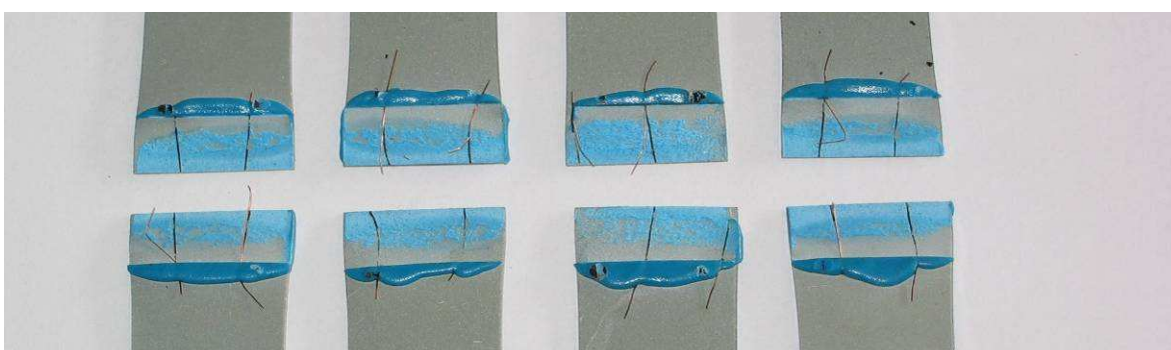
P. 4.5: Ukázka 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-40°C)



P. 4.6: Ukázka 3ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-50°C)

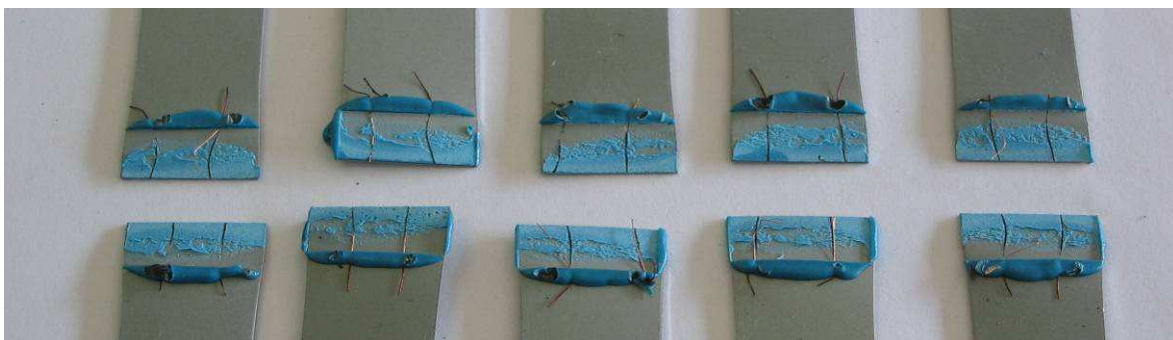


P. 4.7: Ukázka 5ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě 0°C

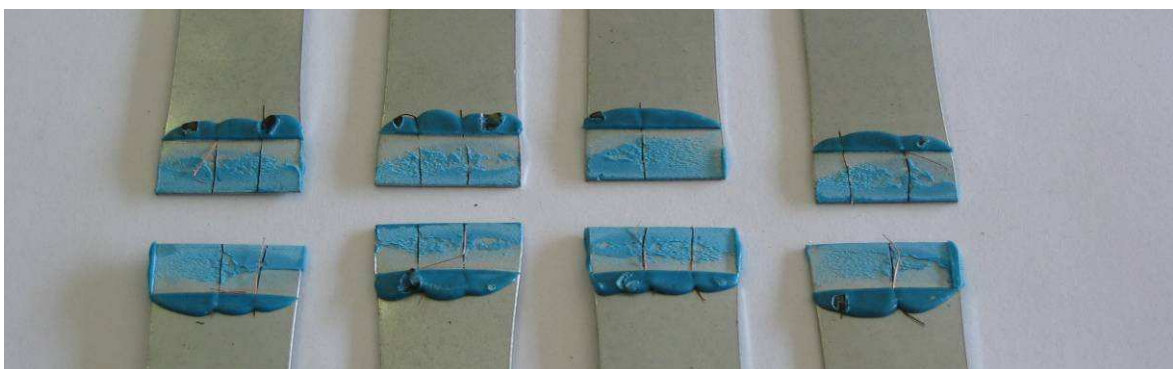


P. 4.8: Ukázka 4 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-10°C)

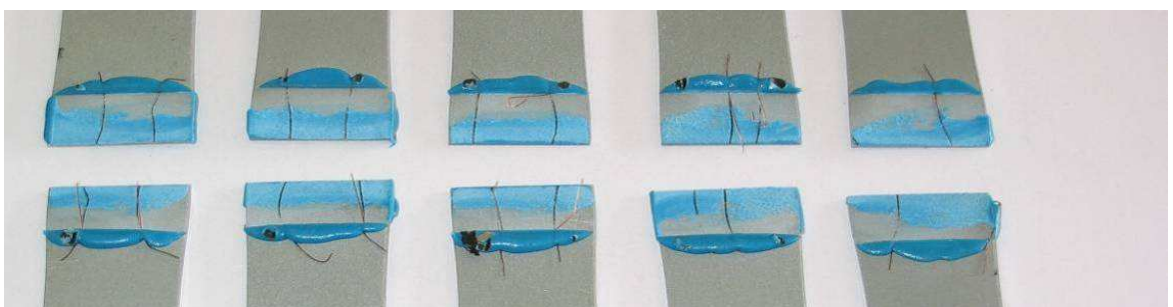




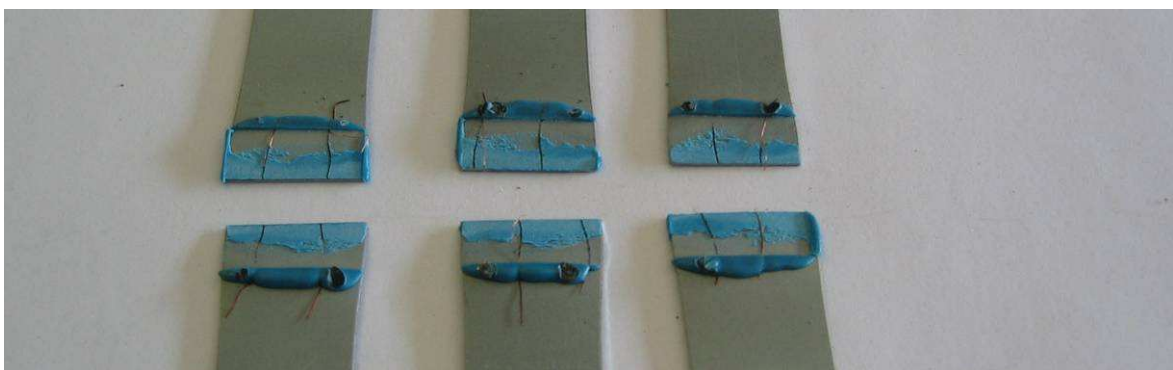
P. 4.9: Ukázka 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-20°C)



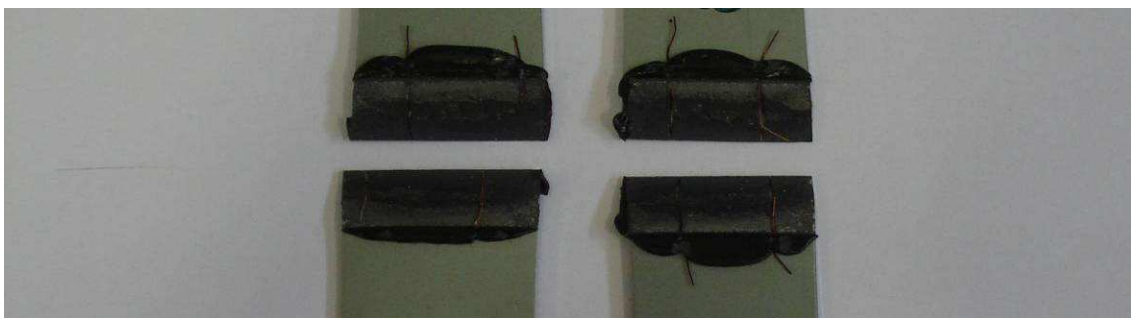
P. 4.10: Ukázka 4 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-30°C)



P. 4.11 Ukázka 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-40°C)



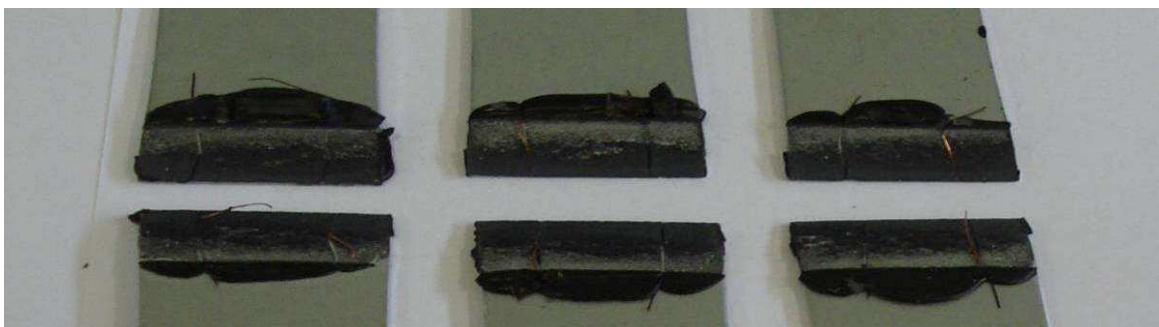
P. 4.12: Ukázka 3 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-50°C)



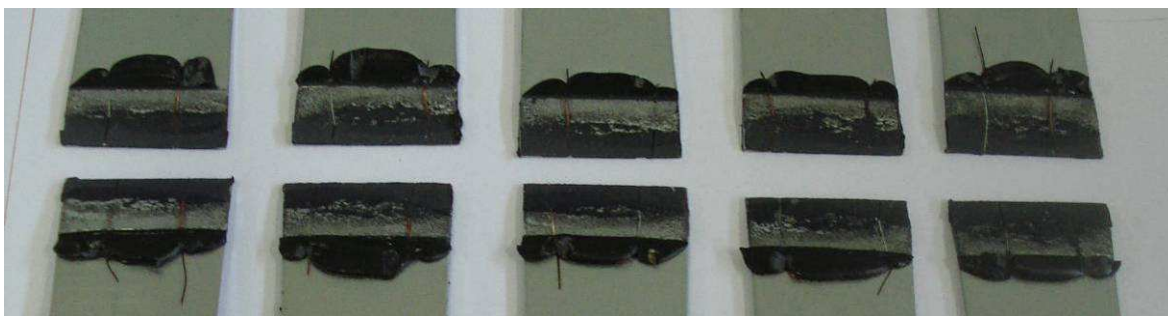
P. 4.13: Ukázka 2 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě 0°C



P. 4.14: Ukázka 2 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-10°C)

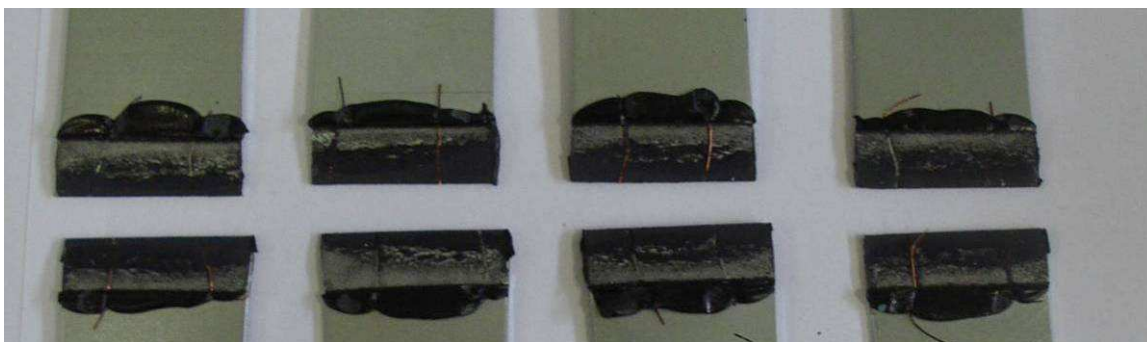


P. 4.15: Ukázka 3 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-20°C)

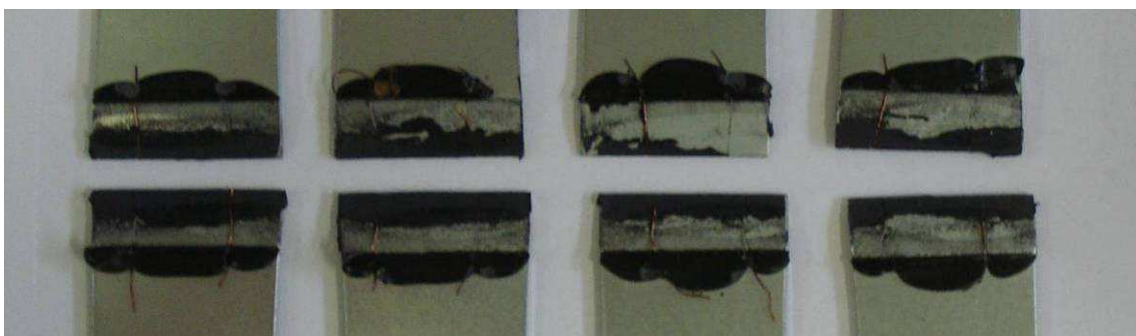


P. 4.16: Ukázka 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-30°C)

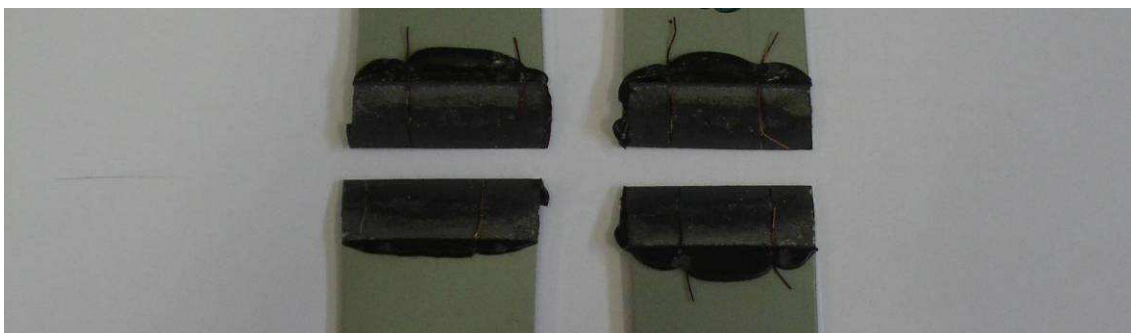




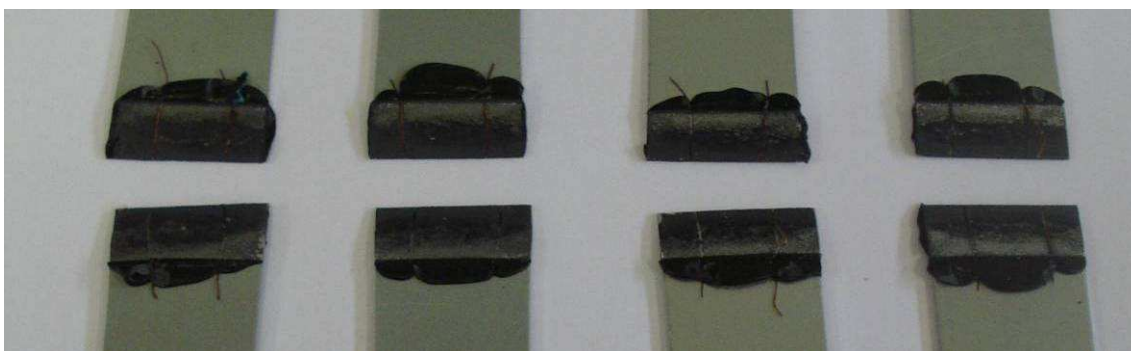
P. 4.17: Ukázka 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-40°C)



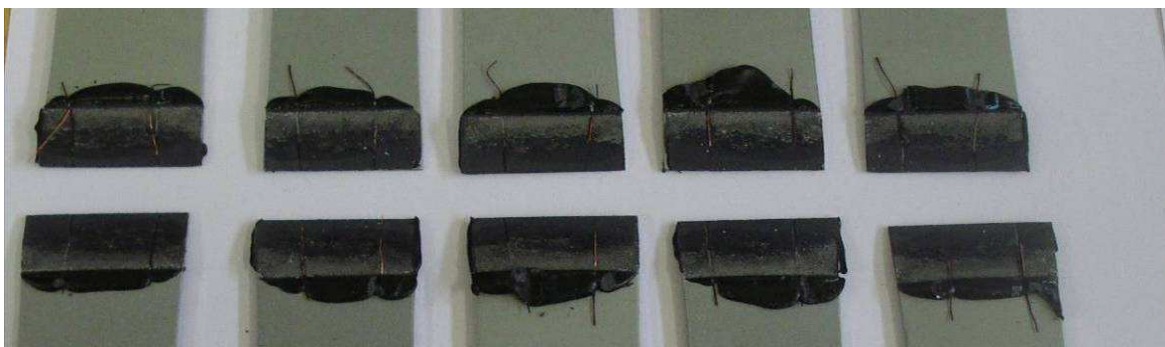
P. 4.18: Ukázka 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-50°C)



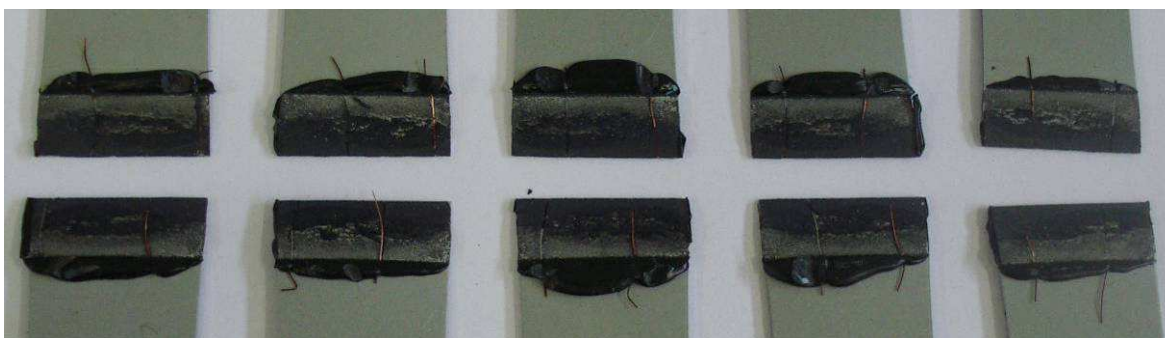
P. 4.19: Ukázka 2 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě 0°C



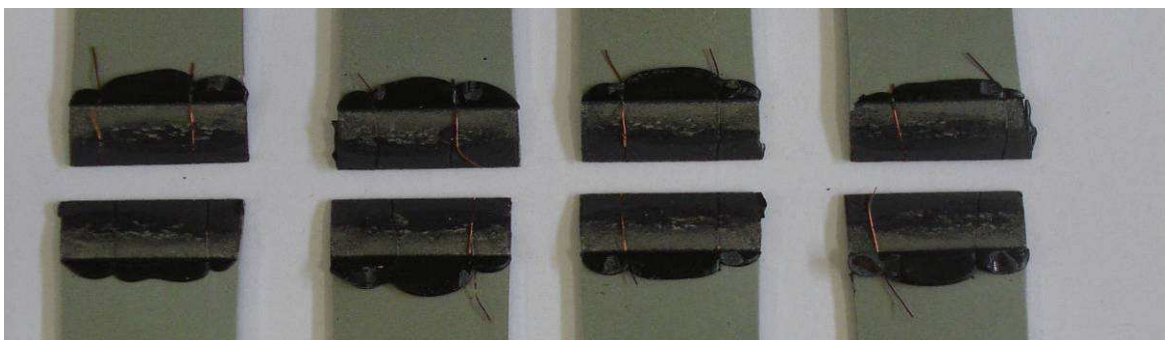
P. 4.20: Ukázka 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-10°C)



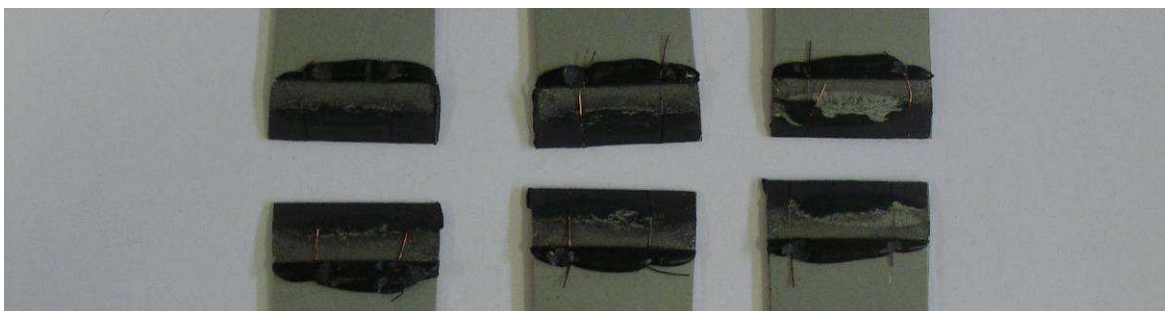
P. 4.21: Ukázka 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-20°C)



P. 4.22: Ukázka 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-30°C)



P. 4.23: Ukázka 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-40°C)



P. 4.24: Ukázka 3 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-50°C)

## Příloha 6: Výsledné grafy ze stroje TIRA TEST 2300

### ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

#### PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : 0°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

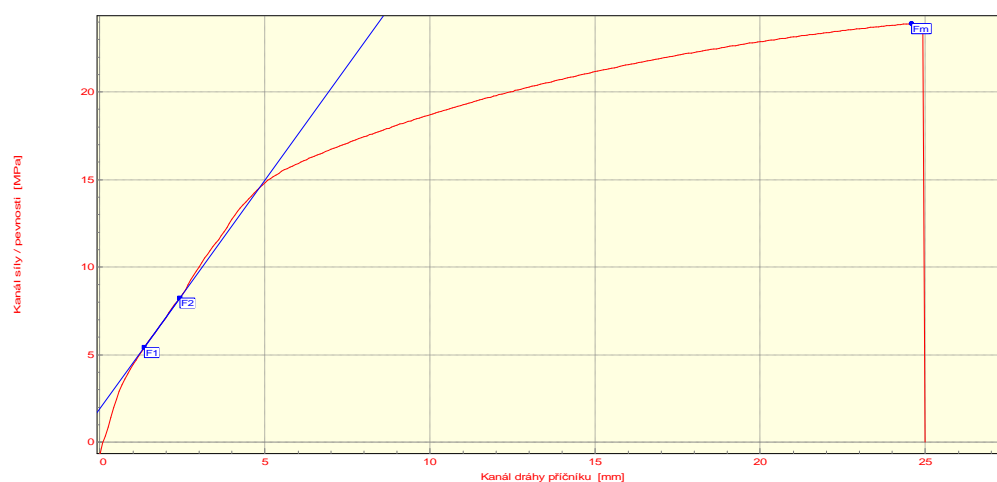
#### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 70  
SCF : 20  
AF : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	23.83
2	22.94
3	23.90
4	23.34
5	23.32

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	23.46
Směrodatná odchylka	0.40



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.1: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě 0°C

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -10°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

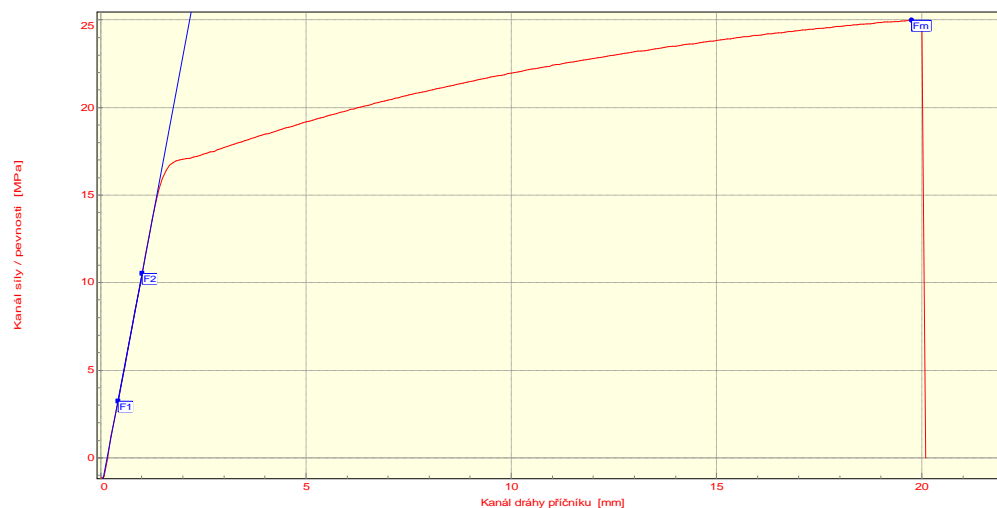
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 70  
SCF : 20  
AF : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	24.82
2	25.28
3	24.81
4	25.25
5	24.98

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	25.03
Směrodatná odchylka	0.23



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.2: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-10°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -20°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

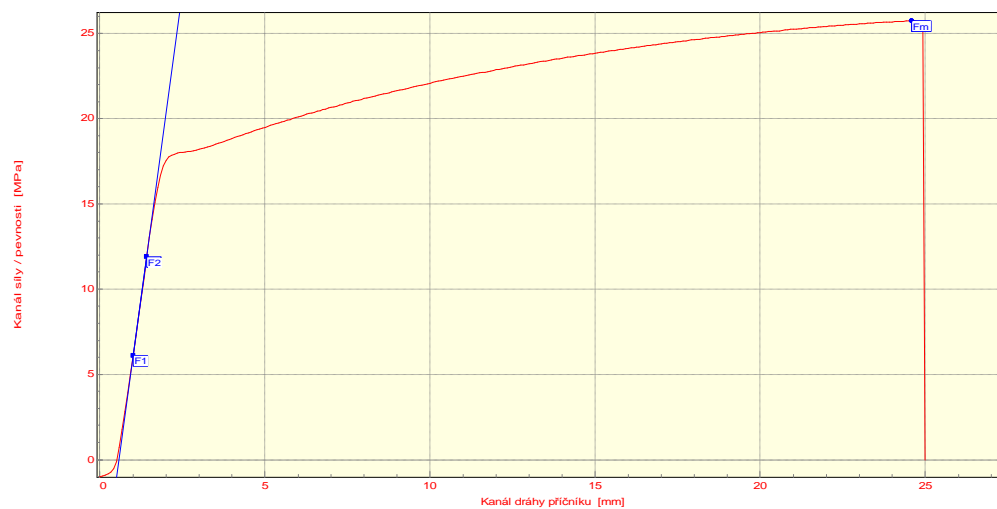
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 70  
SCF : 20  
AF : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	26.64
2	26.63
3	26.64
4	26.49
5	25.72

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	26.42
Směrodatná odchylka	0.40



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.3: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-20°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -30°C  
Datum zkoušky : 6.5 2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

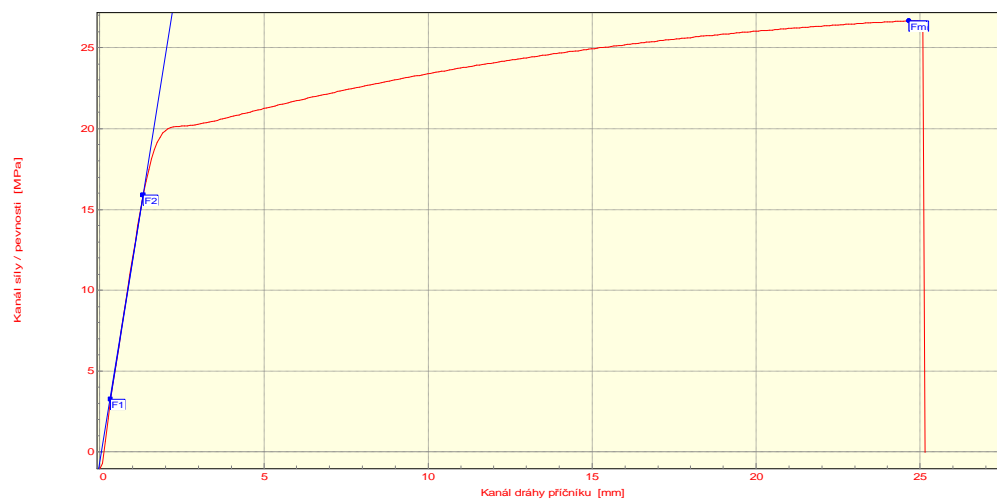
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 70  
SCF : 20  
AF : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	26.50
2	26.52
3	27.23
4	26.66
5	26.79

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	26.74
Směrodatná odchylka	0.30



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.4: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-30°C)



# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -40°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

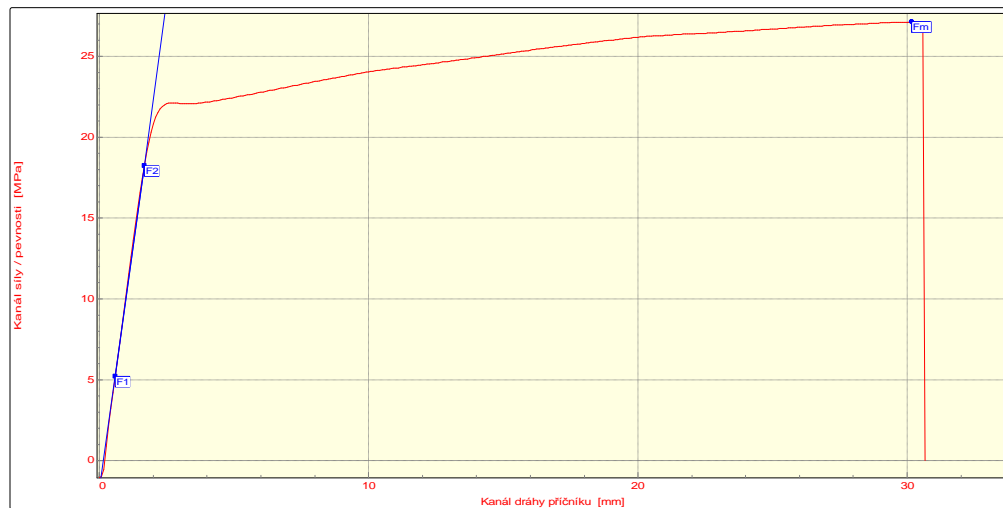
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 70  
SCF : 20  
AF : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	27.25
2	27.19
3	27.02
4	27.12

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	27.15
Směrodatná odchylka	0.10



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.5: Výsledky 4 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-40°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -50°C  
Datum zkoušky : 6.5 2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

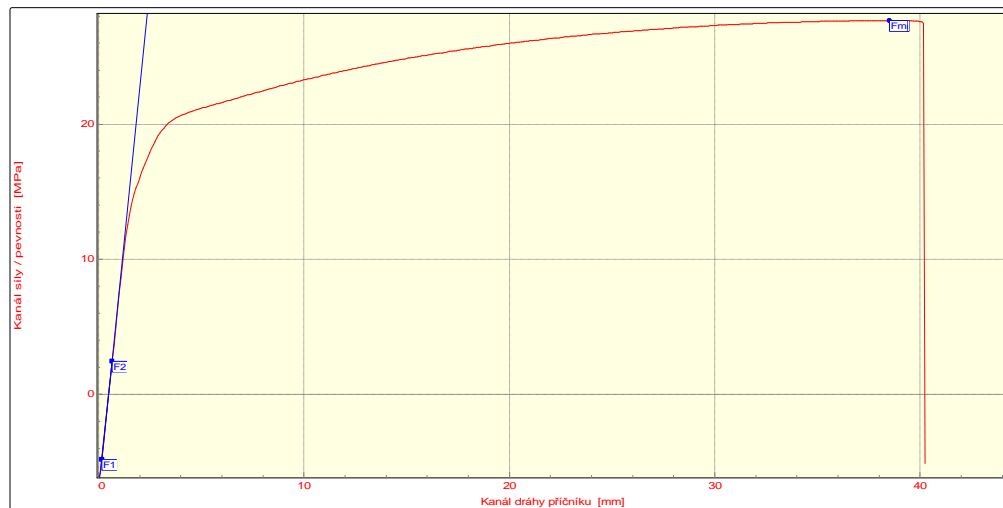
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 70  
SCF : 20  
AF : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	27.61
2	27.59
3	27.66
4	28.15

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	27.75
Směrodatná odchylka	0.27



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.6: Výsledky 4 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (HDG), při teplotě (-50°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : 0°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

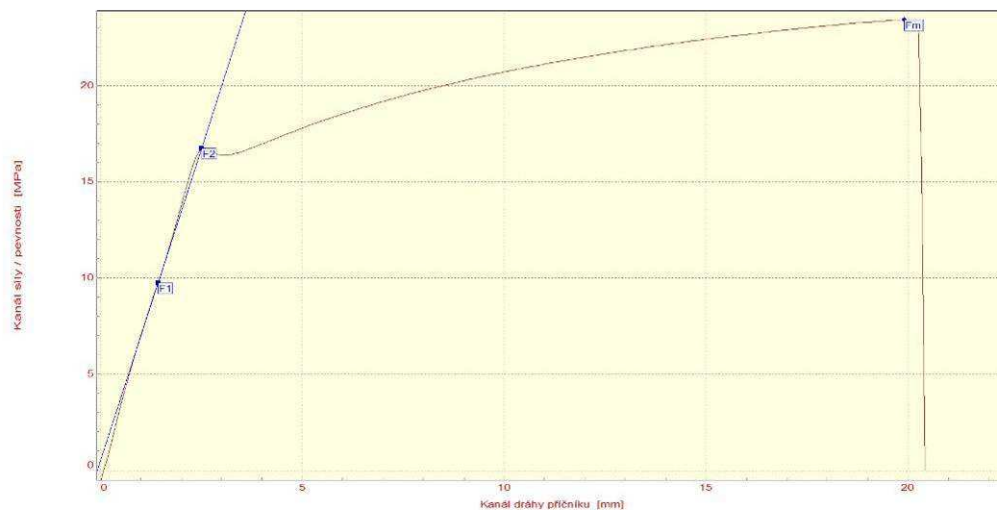
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 10  
SCF: : 80  
AF: : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	24.23
2	23.77
3	23.96
4	23.56
5	23.43

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	23.79
Směrodatná odchylka	0.32



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.7: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě 0°C

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -10°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

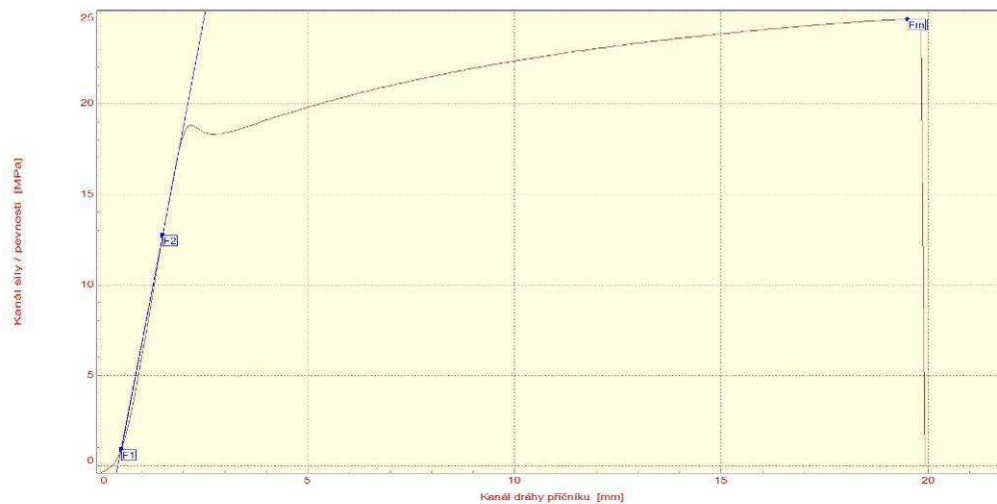
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 10  
SCF: : 80  
AF: : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	23.48
2	24.56
3	23.84
4	24.47
5	24.66

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	24.20
Směrodatná odchylka	0.51



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.8: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-10°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -20°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

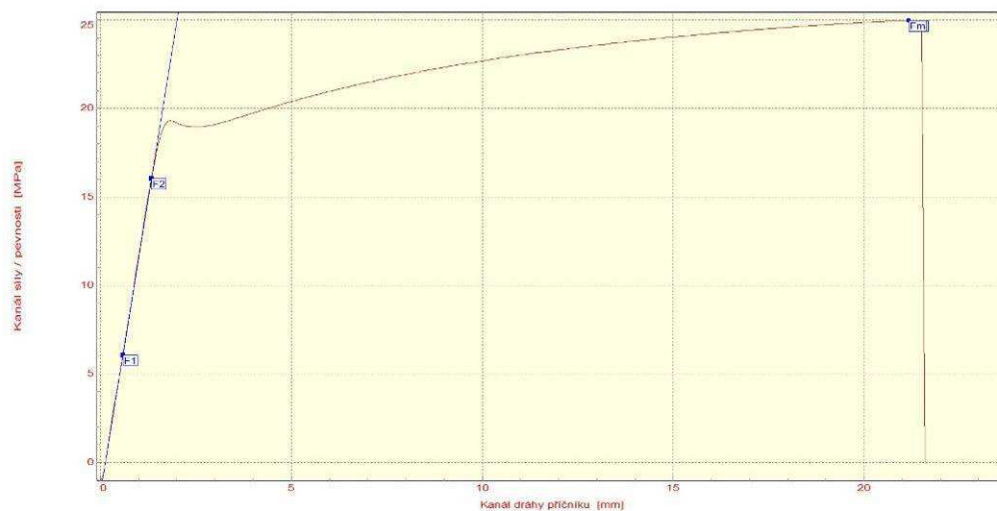
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 10  
SCF: : 80  
AF: : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	25.30
2	25.20
3	24.92
4	25.56
5	24.96

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	25.19
Směrodatná odchylka	0.26



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.9: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-20°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -30°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

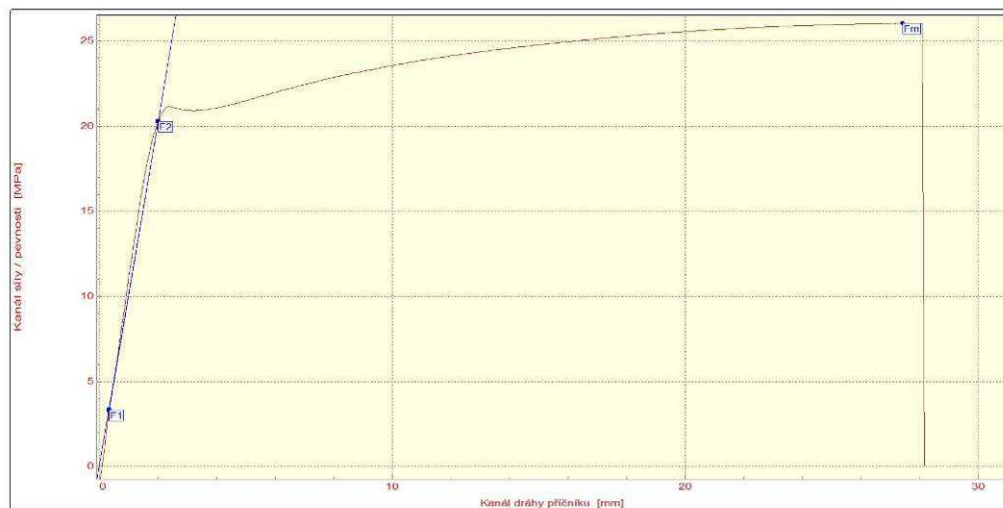
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 10  
SCF: : 80  
AF: : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	26.05
2	26.11
3	26.61
4	25.41

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	26.04
Směrodatná odchylka	0.49



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.10: Výsledky 4 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-30°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -40°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

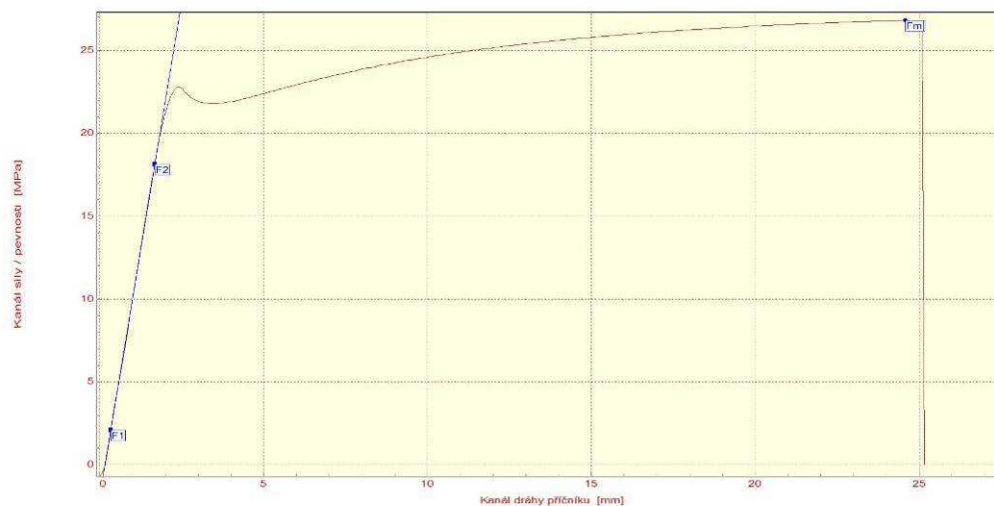
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 10  
SCF: : 80  
AF: : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	27.09
2	26.37
3	26.74
4	26.80
5	26.45

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	26.69
Směrodatná odchylka	0.29



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.11: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-40°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : BETAMATE 1496F  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -50°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

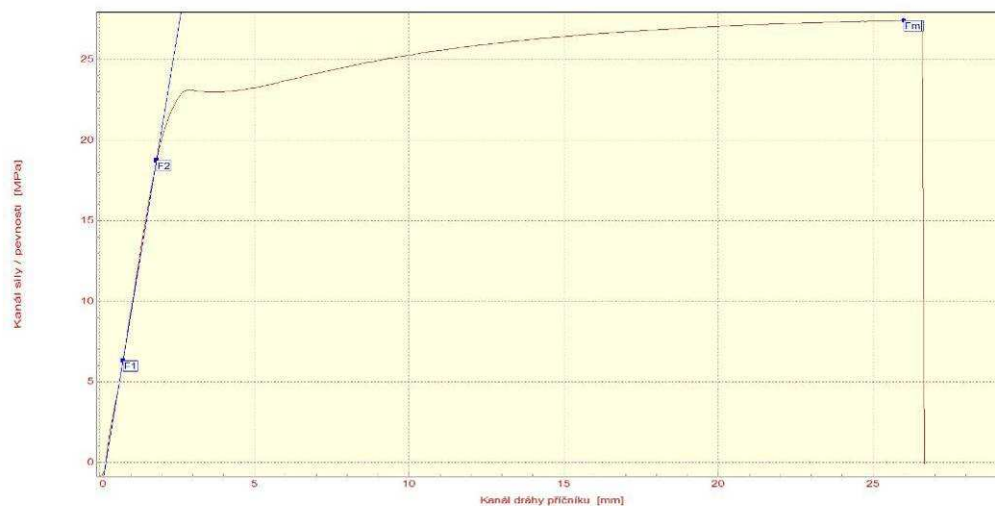
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 10  
SCF: : 80  
AF: : 10

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	26.84
2	27.25
3	27.42
4	27.02
5	27.08

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	27.12
Směrodatná odchylka	0.22



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.12: Výsledky 5 ks vzorků lepidla Betamate 1496F (EG+PH), při teplotě (-50°C)



# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : Sika Power 492G  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : 0°C  
Datum zkoušky: : 6.5 2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků

Vytvrzování 180°C, 20 min.

## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

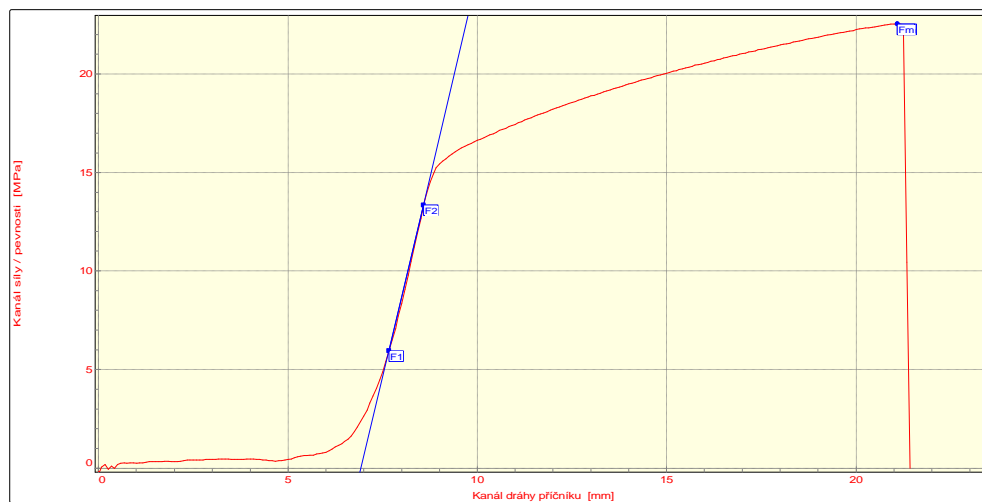
CF: : 80

SCF: : 20

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	21.91
2	22.27
3	22.02
4	22.54

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	22.18
Směrodatná odchylka	0.28



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.13: Výsledky 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě 0°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : Sika Power 492G  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -10°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

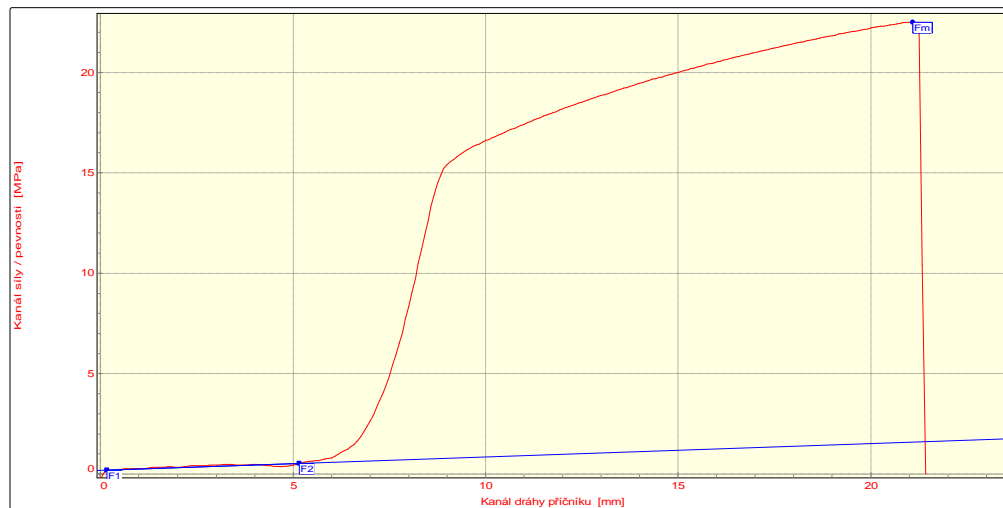
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 80  
SCF : 20  
AF : :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	22.35
2	22.52
3	22.92
4	22.97

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	22.69
Směrodatná odchylka	0.30



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.14: Výsledky 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-10°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : Sika Power 492G  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -20°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Naneseí maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

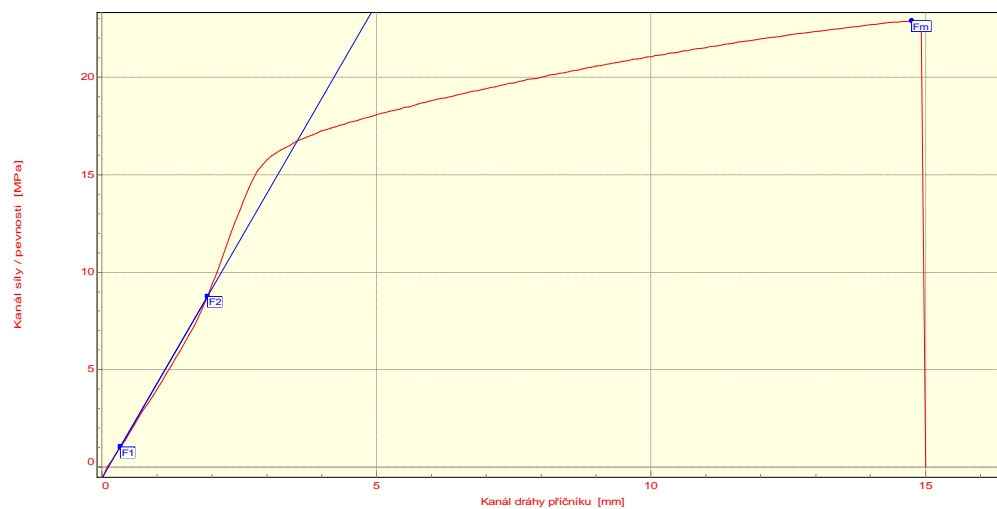
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 80  
SCF : 20  
AF :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	22.95
2	22.58
3	22.88
4	23.59
5	23.18

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	23.03
Směrodatná odchylka	0.38



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.15: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-20°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : Sika Power 492G  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -30°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

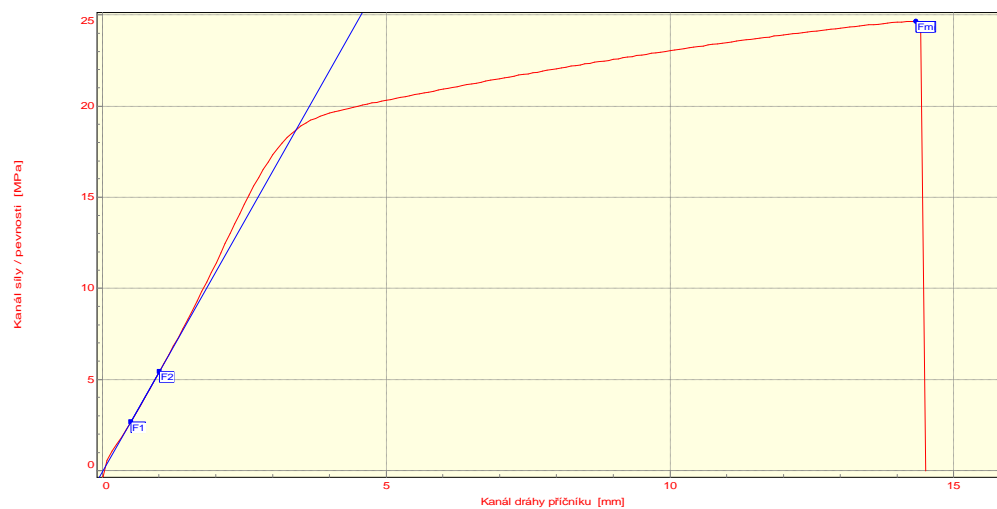
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 80  
SCF : 20  
AF :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	24.65
2	24.89
3	23.84
4	24.78
5	24.28

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	24.49
Směrodatná odchylka	0.43



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.16: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-30°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : Sika Power 492G  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -40°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Naneseí maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

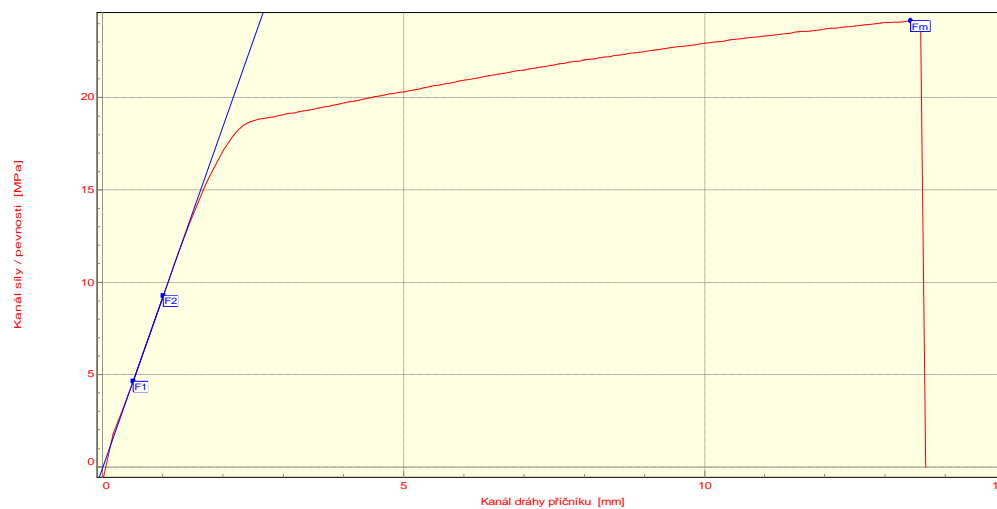
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 80  
SCF : 20  
AF :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	25.06
2	25.87
3	25.48
4	24.14
5	24.84

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	25.08
Směrodatná odchylka	0.66



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.17: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-40°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma : PV 12.35  
Testované lepidlo : Sika Power 492G  
Testovaný substrát : HDG  
Testované mazivo : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování : 50 mm/min  
Podmínky měření : -50°C  
Datum zkoušky : 6.5.2010  
Vypracoval : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Naneseí maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

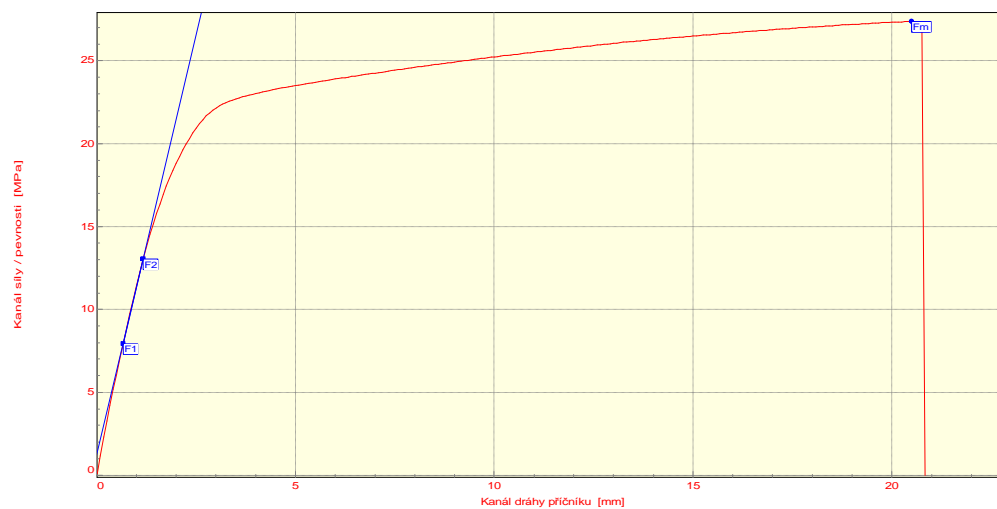
## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF : 80  
SCF : 20  
AF :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	27.38
2	26.62
3	26.94
4	25.52
5	26.26

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	26.54
Směrodatná odchylka	0.70



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.18: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (HDG), při teplotě (-50°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : Sika Power 492G  
Testovaný substrát: : EG+PII  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : 0°C  
Datum zkoušky: : 21. 4. 2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

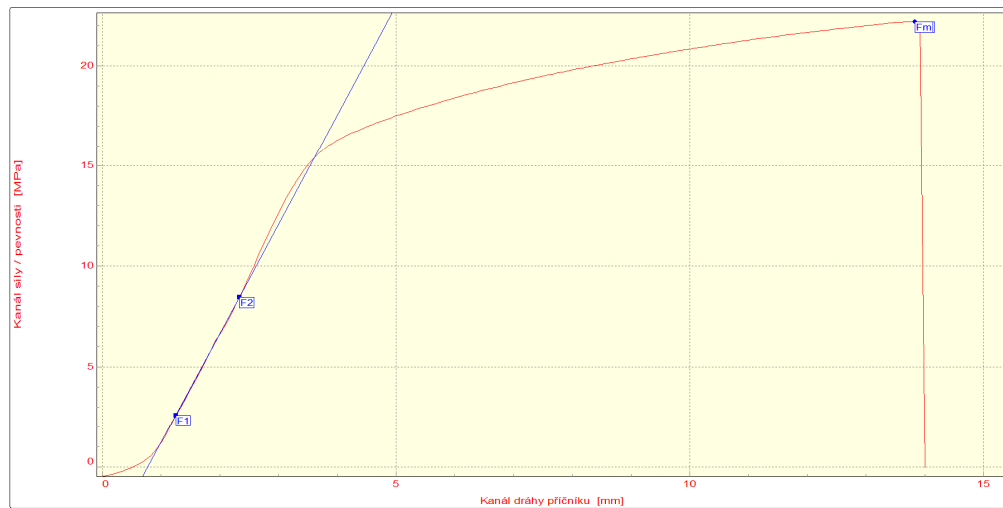
CF: : 95

SCF: : 5

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	22.21
2	22.43
3	22.66
4	22.89

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	22.55
Směrodatná odchylka	0.30



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.19: Výsledky 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě 0°C

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : Sika Power 492G  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -10°C  
Datum zkoušky: : 21. 4. 2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

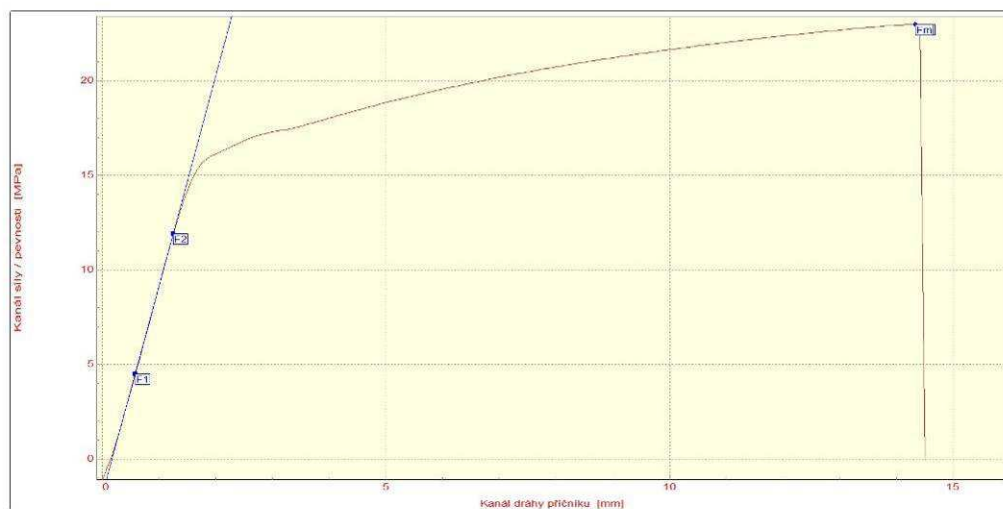
CF: : 95

SCF: : 5

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	22.89
2	22.00
3	22.85
4	22.98

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	22.68
Směrodatná odchylka	0.45



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.20: Výsledky 4 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-10°C)



# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : Sika Power 492G  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -20°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 95

SCF: : 5

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	24.60
2	23.19
3	23.69
4	24.07
5	24.63

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	24.04
Směrodatná odchylka	0.62



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.21: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-20°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : Sika Power 492G  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -30°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 95

SCF: : 5

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	25.08
2	25.73
3	24.80
4	25.72
5	25.88

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	25.44
Směrodatná odchylka	0.47



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.22: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-30°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : Sika Power 492G  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -40°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: : 95

SCF: : 5

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	25.61
2	25.65
3	25.47
4	26.33
5	25.55

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	25.72
Směrodatná odchylka	0.35



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.23: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-40°C)

# ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI PV 12.35

## PODMÍNKY

Norma: : PV 12.35  
Testované lepidlo: : Sika Power 492G  
Testovaný substrát: : EG+PH  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39S  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : -50°C  
Datum zkoušky: : 6.5.2010  
Vypracoval: : Jan Lemfeld

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Nanesení maziva, 1 hodina kondicionace, Slepění vzorků  
Vytvrzování 180°C, 20 min.

## VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

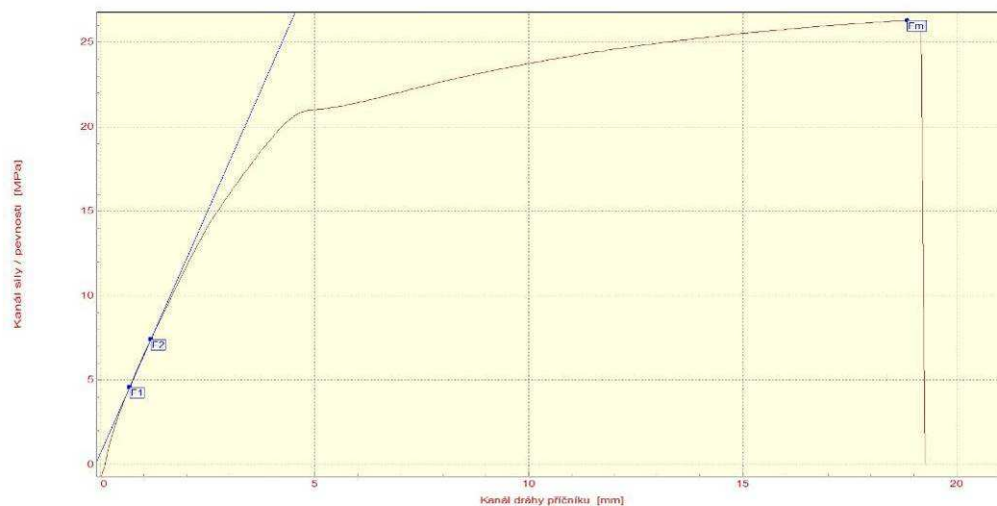
CF: : 95

SCF: : 5

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	26.28
2	27.66
3	26.46
4	26.27
5	27.58

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	26.85
Směrodatná odchylka	0.71



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.24: Výsledky 5 ks vzorků lepidla SikaPower 492G (EG+PH), při teplotě (-50°C)

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnou-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 27. 5. 2011

Podpis:

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I use inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expense invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Datum: 27. 5. 2011

Signature: